

# Trabajo Fin de Máster

## Máster Universitario en Ingeniería Aeronáutica

### Proceso de fabricación y/o restauración del Spitfire Mk IX con CATIA V5

Autor: Carlos Torres Nogueras

Tutor: Francisco Andrés Valderrama Gual

Dep. Ingeniería Gráfica  
Escuela Técnica Superior de Ingeniería  
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2020





Trabajo Fin de Máster  
Máster Universitario en Ingeniería Aeronáutica

# **Proceso de fabricación y/o restauración del Spitfire Mk IX con CATIA V5**

Autor:  
Carlos Torres Nogueras

Tutor:  
Francisco Andrés Valderrama Gual  
Profesor titular de Universidad

Dep. Ingeniería Gráfica  
Escuela Técnica Superior de Ingeniería  
Universidad de Sevilla  
Sevilla, 2020





Autor: Carlos Torres Nogueras

Tutor: Francisco Andrés Valderrama Gual

El tribunal nombrado para juzgar el Proyecto arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2020

El Secretario del Tribunal



*A mi familia*

*A mis amigos*



Para la realización de este proyecto se empleará como base el Trabajo de Fin de Grado realizado en 2017 como cierre de los estudios del Grado en Ingeniería Aeroespacial. El resultado de dicho trabajo, titulado *Modelado con CATIA V5 y recreación virtual del avión Spitfire Mk IX*, es un modelo 3D en detalle del mencionado avión.

Por tanto, partiendo de los conocimientos adquiridos acerca del avión y del propio modelo en CATIA V5, se plantea realizar un proceso descriptivo de la fabricación y/o restauración de este caza británico de la Segunda Guerra Mundial con el apoyo del módulo de fabricación de CATIA V5.

Primero analizaremos los propósitos y objetivos a satisfacer, el alcance del trabajo, los límites que presumiblemente encontraremos y la metodología que emplearemos durante el desarrollo del mismo.

Como punto de partida necesitamos recopilar información detallada acerca de la fabricación o restauración del Spitfire. Por ello, se realizará una profunda investigación bibliográfica con el objetivo de encontrar libros y manuales que sirvan de guía durante todo el proceso llevado a cabo. En muchos casos el contenido se centrará en la restauración de modelos, puesto que la fabricación se paralizó sobre la década de los 50 y el acceso a dicha información es complicado.

Dividiendo el avión en varios módulos (fuselaje, alas, tren de aterrizaje...), expondremos cuales son los pasos que se siguen a la hora de fabricar y/o restaurar un avión de estas características. Por otro lado, describiremos la fabricación de sus componentes a partir de unas determinadas piezas y el posterior ensamblaje de dichos componentes. Es decir, explicaremos cuales son las sucesivas operaciones que tienen lugar (mecanización, taladrado, remachado...) para dar como resultado componentes y módulos finales de la aeronave. Mediante el uso del módulo de fabricación de CATIA V5 simularemos estos procesos en componentes representativos del proceso de fabricación y/o restauración de cada una de las partes del avión.



# Índice

---

<b>Resumen</b>	<b>ix</b>
<b>Índice</b>	<b>xi</b>
<b>Índice de Tablas</b>	<b>xiv</b>
<b>Índice de Figuras</b>	<b>xv</b>
<b>1 Introducción</b>	<b>1</b>
1.1 Propósito y objetivos	1
1.2 Ámbito, alcance y límites	1
1.3 Metodología empleada	2
<b>2 Estructura del Trabajo</b>	<b>7</b>
2.1 Datos de partida	7
2.2 Proceso de fabricación y/o restauración del Supermarine Spitfire	7
2.3 Parte final del documento	7
<b>3 Punto de partida. Documentación</b>	<b>9</b>
<b>4 Supermarine Spitfire</b>	<b>11</b>
4.1 Introducción	11
4.2 Nacimiento	11
4.3 Historia operacional	13
4.3.1 Introducción	13
4.3.2 Comienzos en la RAF	14
4.3.3 Batalla de Inglaterra (1940)	15
4.3.4 Ofensiva europea (1941-43)	16
4.3.5 Servicio en el Mediterráneo	17
4.3.6 Asia y el Pacífico	17
4.3.7 Día D y posterior	18
4.3.8 Servicio en la posguerra	18
4.3.9 Marcas	19
4.4 Spitfire Mk IX	19
4.5 Legado y supervivientes	19
<b>5 Producción en cadena del Spitfire y proyectos de restauración</b>	<b>21</b>
5.1 Fabricación del Spitfire durante la Guerra	21
5.2 Restauración del Spitfire tras la Guerra	23
5.2.1 Compañías pioneras	23
5.2.2 Proyectos en la actualidad	23
<b>6 Proceso de fabricación y/o restauración del Spitfire Mk IX</b>	<b>25</b>
6.1 Introducción	25
6.2 Materiales Supermarine Spitfire Mk IX	26
6.2.1 Fabricación original	26
6.2.2 Alternativas en la actualidad	26
6.3 Entorno de trabajo	27

6.3.1	Máquina de control numérico	27
6.3.2	Pieza final y preforma	29
6.3.3	Máquinas	30
6.3.4	Herramientas de corte	34
6.4	<i>Operaciones realizadas</i>	52
6.4.1	Operaciones simuladas	52
6.4.2	Operaciones no simuladas	65
6.5	<i>Inicio del proceso: Líneas generales a seguir</i>	69
6.5.1	Fabricación	69
6.5.2	Restauración	69
6.6	<i>Fuselaje</i>	71
6.6.1	Primeros pasos de la restauración	71
6.6.2	Cuadernas	72
6.6.3	Largueros	172
6.6.4	Larguerillos (rediseñados)	178
6.6.5	Panel de instrumentos	179
6.6.6	Pedales	192
6.6.7	Rudder bar y su soporte	217
6.6.8	Joystick	239
6.6.9	Cubierta fuselaje	253
6.6.10	Ensamblaje del fuselaje	254
6.7	<i>Cowlings</i>	262
6.7.1	Primeros pasos de la restauración	263
6.7.2	Secciones (rediseñado)	264
6.7.3	Cubierta	271
6.7.4	Spinner (rediseñado)	272
6.7.5	Hélice	282
6.7.6	Ensamblaje cowlings	285
6.8	<i>Canopy</i>	287
6.8.1	Windscreen canopy	288
6.8.2	Sliding hood	296
6.8.3	Ensamblaje canopy	297
6.9	<i>Cola</i>	299
6.9.1	Primeros pasos de la restauración	299
6.9.2	Fin fuse	300
6.9.3	Timón de dirección	305
6.9.4	Estabilizador horizontal	310
6.9.5	Timón de profundidad	314
6.9.6	Trim tab	315
6.9.7	Ensamblaje de la cola	315
6.10	<i>Ala</i>	315
6.10.1	Primeros pasos de la restauración	316
6.10.2	Costillas	317
6.10.3	Largueros	320
6.10.4	Cubierta	320
6.10.5	Alerón	321
6.10.6	Flaps	322
6.10.7	Ensamblaje del ala	322
6.11	<i>Tren de aterrizaje</i>	324
6.11.1	Primeros pasos	326
6.11.2	Tren de aterrizaje fijo	326
6.11.3	Tren de aterrizaje retráctil	338
6.12	<i>Ensamblaje de la aeronave completa</i>	350
<b>7</b>	<b>Conclusiones</b>	<b>357</b>





# ÍNDICE DE TABLAS

---

Tabla 6-1. Brocas: Condiciones de corte	49
Tabla 6-2. Escariadores: Condiciones de corte	52

# ÍNDICE DE FIGURAS

---

Figura 1-1. Estructura ramificada del avión completo	3
Figura 1-2. Estructura ramificada del fuselaje	3
Figura 4-1. Supermarine S6, en el morro se aprecia la forma del Spitfire	12
Figura 4-2. R.J. Mitchell	12
Figura 4-3. Supermarine Spitfire prototype Mk I (K5054)	12
Figura 4-4. Fábrica de Woolston, Southampton	13
Figura 4-5. Fábrica de Castle Bromwich, Birmingham	13
Figura 4-6. Los Spitfire del escuadrón 19 de la RAF	15
Figura 4-7. Ejemplar de Messerschmitt Bf 109 severamente dañado expuesto en la plaza principal de Bolton durante la Batalla de Inglaterra	15
Figura 4-8. Formación Spitfire en la Batalla de Inglaterra	16
Figura 4-9. Spitfires Mk IX en su habitual formación en V	16
Figura 4-10. Spitfire como escolta del bombardero Avro Lancaster	17
Figura 4-11. Spitfire en HMS Eagle	17
Figura 4-12. Spitfire derribando bomba V1	18
Figura 4-13. Spitfire de la Fuerza Aérea Griega.	19
Figura 4-14. Ejemplar de Spitfire en el museo de la RAF de Londres	20
Figura 5-1. Pilotos de la ATA	22
Figura 6-1. Módulos que componen el Spitfire Mk IX	25
Figura 6-2. CNC de referencia: Modelo PFG-S 4020 Servo de BZT	28
Figura 6-3. Menú <i>Part Operation</i>	28
Figura 6-4. Menú <i>Machine Editor</i>	29
Figura 6-5. Taladro tipo pistola real y modelado en CATIA	30
Figura 6-6. Taladros angulares de 30°, 45° y 90°	30
Figura 6-7. Pistola para clecos y clecos de máquina	31
Figura 6-8. Alicata para clecos	31
Figura 6-9. Remachadora tipo pistola y diferentes tipos de buterolas	31
Figura 6-10. Remachadora tipo pistola modelada en CATIA	32
Figura 6-11. Remachadora <i>Cherry</i> real y modelada en CATIA	32
Figura 6-12. Remachadora <i>Huck</i>	32
Figura 6-13. Remachadoras <i>Squeezes</i> tipo A y C	33
Figura 6-14. Remachadora manual para remaches ciegos	33
Figura 6-15. Remachadora manual “C”	33
Figura 6-16. Remachadora de banco neumática	34

Figura 6-17. Brocas de diferentes filos, diámetros y longitudes	34
Figura 6-18. Escariador	34
Figura 6-19. Operación de planeado con cabezal portacuchillas	35
Figura 6-20. Fresa periférica	35
Figura 6-21. Fresas periférico-frontales	35
Figura 6-22. Fresa cónica	35
Figura 6-23. <i>Tool Change</i> : Cambios de herramienta disponibles	37
Figura 6-24. Menú <i>Tooling Creation</i>	37
Figura 6-25. <i>Machining Operations</i> : Operaciones de mecanizado disponibles	37
Figura 6-26. Menú <i>Drilling</i> : Selección de herramienta	38
Figura 6-27. Catálogos de herramientas de CATIA	39
Figura 6-28. Cabezal ASX400-100B10R: Geometría y tecnología	39
Figura 6-29. Cabezal ASX400-100B10R: Condiciones de corte	40
Figura 6-30. Fresa IMX25C3A280R32023: Geometría y tecnología	40
Figura 6-31. Fresa IMX25C3A280R32023: Condiciones de corte	41
Figura 6-32. Fresa VQJHVD1200: Geometría y tecnología	41
Figura 6-33. Fresa VQJHVD1200: Condiciones de corte	42
Figura 6-34. Fresa AM2MRD0500A060: Geometría y tecnología	42
Figura 6-35. Fresa AM2MRD0500A060: Condiciones de corte	43
Figura 6-36. Fresa AM2MBR0200A060: Geometría y tecnología	43
Figura 6-37. Fresa AM2MBR0200A060: Condiciones de corte	44
Figura 6-38. Fresa AM2MBR0100A060: Geometría y tecnología	44
Figura 6-39. Fresa AM2MBR0100A060: Condiciones de corte	45
Figura 6-40. Detalles geometría broca	45
Figura 6-41. Ángulo de desprendimiento lateral	45
Figura 6-42. Broca A2 2297 D2.5: Geometría	46
Figura 6-43. Broca A2 2297 D3.1: Geometría	46
Figura 6-44. Broca A2 2297 D3.5: Geometría	46
Figura 6-45. Broca A2 2060 D5: Geometría	47
Figura 6-46. Broca A2 2060 D5.5: Geometría	47
Figura 6-47. Broca A1 1190 D5.5: Geometría	47
Figura 6-48. Broca A2 2060 D6: Geometría	48
Figura 6-49. Broca A2 2060 D8: Geometría	48
Figura 6-50. Broca A2 2060 D8: Geometría	48
Figura 6-51. Escariador A6 6260 D3.1: Geometría	49
Figura 6-52. Escariador A6 6260 D3.5: Geometría	50
Figura 6-53. Escariador A6 6260 D5: Geometría	50
Figura 6-54. Escariador A6 6260 D6: Geometría	51
Figura 6-55. Escariador A6 6260 D8: Geometría	51

Figura 6-56. Código de colores para el análisis de mecanizado	52
Figura 6-57. Planeado: Estrategia de mecanizado	53
Figura 6-58. Planeado: Geometría a mecanizar	54
Figura 6-59. Planeado: Parámetros de corte	55
Figura 6-60. Contorneado: Estrategia de mecanizado	56
Figura 6-61. Contorneado: Geometría a mecanizar	57
Figura 6-62. Contorneado: Parámetros de corte	58
Figura 6-63. Vaciado: Estrategia de mecanizado	59
Figura 6-64. Vaciado: Geometría a mecanizar	59
Figura 6-65. Taladrado: Estrategia de mecanizado	60
Figura 6-66. Taladrado: Geometría a mecanizar	61
Figura 6-67. Mecanizado de superficies (desbaste): Geometría a mecanizar	62
Figura 6-68. Algunas de las macros disponibles	63
Figura 6-69. Macros de aproximación y retirada del usuario	63
Figura 6-70. Macro de aclarado del usuario	63
Figura 6-71. Pinzado de uniones entre costillas y largueros del ala	64
Figura 6-72. Remachado indirecto con pistola de remachado	65
Figura 6-73. Remache ciego	65
Figura 6-74. Esquema de torneado	66
Figura 6-75. Esquema de laminación y preformas y productos característicos	66
Figura 6-76. Esquema de extrusión directa e indirecta	66
Figura 6-77. Esquema de estirado	67
Figura 6-78. Esquema de corte de chapa	67
Figura 6-79. Esquema de doblado de chapa	67
Figura 6-80. Esquema de embutición de chapa	68
Figura 6-81. Esquema de estirado de chapa	68
Figura 6-82. Esquema de conformado rotativo de chapa	68
Figura 6-83. Procedimiento para quitar remaches	69
Figura 6-84. Fuselaje del Spitfire Mk IX	71
Figura 6-85. Fuselaje modelado en CATIA	71
Figura 6-86. Cuaderna 11 modelada en CATIA	72
Figura 6-87. Sección 11 modelada en CATIA	73
Figura 6-88. Sección 11: Diseño erróneo	73
Figura 6-89. Sección 11: Cambio de espesor en extrusión	74
Figura 6-90. Sección 11: Cambio en la operación <i>Rib. I</i>	74
Figura 6-91. Sección 11: Vaciado para remachado de chapas	75
Figura 6-92. Sección 11-chapas de unión: Operación <i>rib</i>	75
Figura 6-93. Sección 11: Chapas de unión de la parte superior modeladas en CATIA	76
Figura 6-94. Sección 11: Chapas de unión de la parte inferior modeladas en CATIA	76

Figura 6-95. Sección 11: Resultado de mecanizado frente a pieza final	77
Figura 6-96. Sección 11-chapa frontal: Trayectoria de planeado	77
Figura 6-97. Sección 11-chapa frontal: Trayectoria de contorneado exterior	78
Figura 6-98. Sección 11-chapa frontal: Resultado de contorneado exterior	78
Figura 6-99. Sección 11-chapa frontal: Trayectoria de contorneado interior	79
Figura 6-100. Sección 11-chapa frontal: Resultado de contorneado interior	79
Figura 6-101. Sección 11-chapa frontal: Trayectoria de taladrado	80
Figura 6-102. Sección 11-chapa frontal: Resultado de taladrado	80
Figura 6-103. Sección 11-chapa unión: Operación de taladrado	81
Figura 6-104. Refuerzo superior 11 modelado en CATIA	81
Figura 6-105. Refuerzo superior 11: Preforma	82
Figura 6-106. Refuerzo superior 11: Trayectoria de planeado	82
Figura 6-107. Refuerzo superior 11: Trayectoria de contorneado	83
Figura 6-108. Refuerzo superior 11: Resultado de contorneado	83
Figura 6-109. Refuerzo superior 11: Trayectoria de taladrado	83
Figura 6-110. Refuerzo superior 11: Resultado de taladrado	84
Figura 6-111. Refuerzo lateral 11 modelado en CATIA	84
Figura 6-112. Refuerzo inferior 11 modelado en CATIA	84
Figura 6-113. Barra horizontal 11: Diseño erróneo	85
Figura 6-114. Barra horizontal 11 rediseñada en CATIA	85
Figura 6-115. Barra horizontal 11: Resultado de taladrado	86
Figura 6-116. Barra diagonal 11 rediseñada en CATIA	86
Figura 6-117. <i>Head armour</i> 11 modelada en CATIA	86
Figura 6-118. <i>Head armour</i> 11: Preforma	87
Figura 6-119. <i>Head armour</i> 11: Trayectoria de planeado	87
Figura 6-120. <i>Head armour</i> 11: Trayectoria de contorneado	88
Figura 6-121. <i>Head armour</i> 11: Resultado de contorneado	88
Figura 6-122. <i>Head armour</i> 11: Trayectoria de taladrado	89
Figura 6-123. <i>Head armour</i> 11: Resultado de taladrado	89
Figura 6-124. <i>Shoulder belt seat roller</i> 11 modelado en CATIA	89
Figura 6-125. <i>Shoulder belt seat roller</i> 11: Preformas	90
Figura 6-126. <i>Shoulder belt seat roller</i> 11-parte 1: Trayectoria de planeado	90
Figura 6-127. <i>Shoulder belt seat roller</i> 11-parte 2: Trayectoria de planeado	90
Figura 6-128. <i>Shoulder belt seat roller</i> 11-parte 1: Trayectoria de contorneado	91
Figura 6-129. <i>Shoulder belt seat roller</i> 11-parte 2: Trayectoria de contorneado	91
Figura 6-130. <i>Shoulder belt seat roller</i> 11-parte 1: Resultado de contorneado	92
Figura 6-131. <i>Shoulder belt seat roller</i> 11-parte 2: Resultado de contorneado	92
Figura 6-132. <i>Shoulder belt seat roller</i> 11-parte 1: Trayectoria de taladrado	92
Figura 6-133. <i>Shoulder belt seat roller</i> 11-parte 1: Resultado de taladrado	93

Figura 6-134. <i>Shoulder belt seat roller</i> 11-parte 2: Resultado de taladrado	93
Figura 6-135. <i>Shoulder belt seat roller</i> 11: Resultado de soldadura	93
Figura 6-136. <i>Shoulder belt seat roller</i> 11: Resultado final	94
Figura 6-137. <i>Seat mounting frame</i> 11 modelado en CATIA	94
Figura 6-138. <i>Seat mounting frame</i> 11: Parte principal en el entorno del sistema	95
Figura 6-139. <i>Seat mounting frame</i> 11: Parte principal modelada en CATIA	95
Figura 6-140. <i>Seat mounting frame</i> 11-parte principal: Preforma	95
Figura 6-141. <i>Seat mounting frame</i> 11-parte principal: Trayectoria de planeado	96
Figura 6-142. <i>Seat mounting frame</i> 11-parte principal: Trayectoria de contorneado exterior	96
Figura 6-143. <i>Seat mounting frame</i> 11-parte principal: Resultado de contorneado exterior	96
Figura 6-144. <i>Seat mounting frame</i> 11-parte principal: Trayectoria de contorneado interior	97
Figura 6-145. <i>Seat mounting frame</i> 11-parte principal: Resultado de contorneado interior	97
Figura 6-146. <i>Seat mounting frame</i> 11-parte principal: Trayectoria de contorneado	98
Figura 6-147. <i>Seat mounting frame</i> 11-parte principal: Resultado de contorneado	98
Figura 6-148. <i>Seat mounting frame</i> 11-parte principal: Resultado de taladrado en detalle	99
Figura 6-149. <i>Seat mounting frame</i> 11: Barra superior en el entorno del sistema	99
Figura 6-150. <i>Seat mounting frame</i> 11: Barra superior modelada en CATIA	100
Figura 6-151. <i>Seat mounting frame</i> 11: Barras diagonales en el entorno del sistema	101
Figura 6-152. <i>Seat mounting frame</i> 11: Diseño erróneo de la barra diagonal	101
Figura 6-153. <i>Seat mounting frame</i> 11: Barra diagonal modelada en CATIA	101
Figura 6-154. <i>Seat mounting frame</i> 11: Elementos soldados en la barra diagonal	102
Figura 6-155. <i>Seat mounting frame</i> 11: Barra inferior 1 en el entorno del sistema	102
Figura 6-156. <i>Seat mounting frame</i> 11: Diseño erróneo de la barra inferior 1	103
Figura 6-157. <i>Seat mounting frame</i> 11: <i>Sketch</i> de la operación <i>Pad</i> de la barra inferior 1	103
Figura 6-158. <i>Seat mounting frame</i> 11: <i>Sketch</i> de la operación <i>Pocket</i> de la barra inferior 1	103
Figura 6-159. <i>Seat mounting frame</i> 11: Barra inferior 1 modelada en CATIA	104
Figura 6-160. <i>Seat mounting frame</i> 11: Barra inferior 2 en el entorno del sistema	104
Figura 6-161. <i>Seat mounting frame</i> 11: Barra inferior 2 modelada en CATIA	105
Figura 6-162. <i>Seat mounting frame</i> 11-barra inferior 2: Preforma	105
Figura 6-163. <i>Seat mounting frame</i> 11-barra inferior 2: Trayectoria de planeado	106
Figura 6-164. <i>Seat mounting frame</i> 11-barra inferior 2: Trayectoria de contorneado	106
Figura 6-165. <i>Seat mounting frame</i> 11-barra inferior 2: Resultado de contorneado	107
Figura 6-166. <i>Seat mounting frame</i> 11-barra inferior 2: Resultado de taladrado	107
Figura 6-167. <i>Seat mounting frame</i> 11: Sujeciones inferiores 1 en el entorno del sistema	108
Figura 6-168. <i>Seat mounting frame</i> 11: Sujeción inferior 1 modelada en CATIA	108
Figura 6-169. <i>Seat mounting frame</i> 11-sujeción inferior 1: Preforma	109
Figura 6-170. <i>Seat mounting frame</i> 11-sujeción inferior 1: Trayectoria de planeado	109
Figura 6-171. <i>Seat mounting frame</i> 11-sujeción inferior 1: Trayectoria de contorneado	110
Figura 6-172. <i>Seat mounting frame</i> 11-sujeción inferior 1: Resultado de contorneado	110

Figura 6-173. <i>Seat mounting frame</i> 11-sujeción inferior 1: Trayectoria de taladrado	110
Figura 6-174. <i>Seat mounting frame</i> 11-sujeción inferior 1: Resultado de taladrado	111
Figura 6-175. <i>Seat mounting frame</i> 11-sujeción inferior 1: Doblado de chapa	111
Figura 6-176. <i>Seat mounting frame</i> 11: Sujeciones inferiores 2 en el entorno del sistema	112
Figura 6-177. <i>Seat mounting frame</i> 11: Sujeción inferior 2 modelada en CATIA	112
Figura 6-178. <i>Seat mounting frame</i> 11-sujeción inferior 2: Trayectoria de planeado	113
Figura 6-179. <i>Seat mounting frame</i> 11-sujeción inferior 2: Trayectoria de contorneado	113
Figura 6-180. <i>Seat mounting frame</i> 11-sujeción inferior 2: Resultado de contorneado	114
Figura 6-181. <i>Seat mounting frame</i> 11-sujeción inferior 2: Trayectoria de taladrado	114
Figura 6-182. <i>Seat mounting frame</i> 11-sujeción inferior 2: Resultado de taladrado	114
Figura 6-183. <i>Seat mounting frame</i> 11-sujeción inferior 2: Doblado de chapa	115
Figura 6-184. <i>Seat mounting frame</i> 11: Sujeción superior en el entorno del sistema	115
Figura 6-185. <i>Seat mounting frame</i> 11: Sujeción superior modelada en CATIA	116
Figura 6-186. <i>Seat mounting frame</i> 11-sujeción superior: Preforma	116
Figura 6-187. <i>Seat mounting frame</i> 11-sujeción superior: Trayectoria de planeado	117
Figura 6-188. <i>Seat mounting frame</i> 11-sujeción superior: Trayectoria de contorneado	117
Figura 6-189. <i>Seat mounting frame</i> 11-sujeción superior: Resultado de contorneado	117
Figura 6-190. <i>Seat mounting frame</i> 11-sujeción superior: Trayectoria de taladrado	118
Figura 6-191. <i>Seat mounting frame</i> 11-sujeción superior: Resultado de taladrado	118
Figura 6-192. <i>Seat mounting frame</i> 11: Brazos oscilantes superiores en el entorno del sistema	118
Figura 6-193. <i>Seat mounting frame</i> 11: Brazo oscilante superior modelado en CATIA	119
Figura 6-194. <i>Seat mounting frame</i> 11: Soldadura 1 del brazo oscilante superior	119
Figura 6-195. <i>Seat mounting frame</i> 11: Brazo oscilante inferior en el entorno del sistema	120
Figura 6-196. <i>Seat mounting frame</i> 11: Brazo oscilante inferior modelado en CATIA	120
Figura 6-197. <i>Seat mounting frame</i> 11-brazo oscilante inferior: Preforma	121
Figura 6-198. <i>Seat mounting frame</i> 11-brazo oscilante inferior: Trayectoria de planeado	122
Figura 6-199. <i>Seat mounting frame</i> 11-brazo oscilante inferior: Trayectoria de contorneado	122
Figura 6-200. <i>Seat mounting frame</i> 11-brazo oscilante inferior: Resultado de contorneado	123
Figura 6-201. <i>Seat mounting frame</i> 11-brazo oscilante inferior: Trayectoria de contorneado	123
Figura 6-202. <i>Seat mounting frame</i> 11-brazo oscilante inferior: Resultado de contorneado	124
Figura 6-203. <i>Seat mounting frame</i> 11: Sistema de ajuste en el entorno del sistema	124
Figura 6-204. <i>Seat mounting frame</i> 11: Sistema de ajuste modelado en CATIA	125
Figura 6-205. <i>Seat mounting frame</i> 11: Pestillo en el entorno de la cuaderna 11	125
Figura 6-206. <i>Seat mounting frame</i> 11: Pestillos en el entorno del sistema	126
Figura 6-207. <i>Seat mounting frame</i> 11: Pestillo modelado en CATIA	126
Figura 6-208. <i>Seat mounting frame</i> 11: Sistemas de amortiguación en el entorno del sistema	127
Figura 6-209. Asiento modelado en CATIA	127
Figura 6-210. Cuaderna 11: Remachado sección 11	128
Figura 6-211. Cuaderna 11: Remachado refuerzos	129



Figura 6-212. Cuaderna 11: Unión atornillada barras	129
Figura 6-213. Cuaderna 11: Unión atornillada pestillos	130
Figura 6-214. Cuaderna 11: Unión atornillada placa armadura	130
Figura 6-215. Cuaderna 11: Acoplamiento estructura asiento	131
Figura 6-216. Cuaderna 11: Asiento fijado	132
Figura 6-217. Cuaderna 9 modelada en CATIA	133
Figura 6-218. Sección 9 modelada en CATIA	133
Figura 6-219. Sección 11: Diseño erróneo	134
Figura 6-220. Sección 9: Cambio en la operación <i>Rib. I</i>	134
Figura 6-221. Sección 9: Vaciado para remachado de chapas	135
Figura 6-222. Sección 9: Chapas de unión de la parte central modeladas en CATIA	135
Figura 6-223. Sección 9: Chapas de unión de la parte inferior modeladas en CATIA	135
Figura 6-224. Sección 9: Preforma	136
Figura 6-225. Sección 9-chapa frontal: Trayectoria de planeado	136
Figura 6-226. Sección 9-chapa frontal: Trayectoria de contorneado exterior	137
Figura 6-227. Sección 9-chapa frontal: Trayectoria de contorneado interior	137
Figura 6-228. Sección 9-chapa frontal: Resultado de contorneado	138
Figura 6-229. Sección 9-chapa frontal: Trayectoria de taladrado	138
Figura 6-230. Sección 9-chapa frontal: Resultado de taladrado	139
Figura 6-231. Sección 9-chapa unión: Operación de taladrado	139
Figura 6-232. Barra horizontal 9: Diseño erróneo	140
Figura 6-233. Barra horizontal 9 rediseñada en CATIA	140
Figura 6-234. Barra horizontal 9: Detalle de operación de corte	140
Figura 6-235. Barra horizontal 9: Resultado de taladrado	141
Figura 6-236. Barra diagonal 11 rediseñada en CATIA	141
Figura 6-237. Refuerzos inferiores 9 en su posición final	142
Figura 6-238. Refuerzos inferiores 9: Funcionalidad asociada a los pedales	142
Figura 6-239. Refuerzo inferior 9: Pieza referencia modelada en CATIA	142
Figura 6-240. Refuerzo inferior 9: Preforma	143
Figura 6-241. Refuerzo inferior 9: Trayectoria de planeado	143
Figura 6-242. Refuerzo inferior 9: Trayectoria de contorneado exterior	144
Figura 6-243. Refuerzo inferior 9: Trayectoria de contorneado interior	144
Figura 6-244. Refuerzo inferior 9: Resultado de contorneado	145
Figura 6-245. Refuerzo inferior 9: Trayectoria de taladrado	145
Figura 6-246. Refuerzo inferior 9: Resultado de taladrado	145
Figura 6-247. Refuerzo inferior 9: Detalle del resultado final	146
Figura 6-248. Cuaderna 9: Remachado sección 9	146
Figura 6-249. Cuaderna 9: Remachado refuerzo lateral	147
Figura 6-250. Cuaderna 9: Unión atornillada barra horizontal	147

Figura 6-251. Cuaderna 9: Remachado refuerzo central	148
Figura 6-252. Cuaderna 9: Remachado del resto de refuerzos	148
Figura 6-253. Cuaderna 9: Remachado del resto de refuerzos	149
Figura 6-254. Prolongador/codo remachadora <i>Cherry</i>	149
Figura 6-255. Cuaderna 9: Unión atornillada barras diagonales	150
Figura 6-256. Cuaderna 5 modelada en CATIA	151
Figura 6-257. Sección 5 modelada en CATIA	151
Figura 6-258. Sección 5-pieza 1: Preforma	152
Figura 6-259. Sección 5-pieza 1: Trayectoria de planeado	152
Figura 6-260. Sección 5-pieza 1: Resultado de contorneado	153
Figura 6-261. Sección 5-pieza 1: Trayectoria de vaciado	153
Figura 6-262. Sección 5-pieza 1: Resultado de vaciado en detalle	154
Figura 6-263. Sección 5-pieza 1: Trayectoria de taladrado	154
Figura 6-264. Sección 5-pieza 1: Resultado de taladrado	155
Figura 6-265. Sección 5-pieza 2: Preforma	155
Figura 6-266. Sección 5-pieza 2: Trayectoria de planeado	155
Figura 6-267. Sección 5-pieza 2: Trayectoria de contorneado	156
Figura 6-268. Sección 5-pieza 2: Resultado de contorneado	156
Figura 6-269. Sección 5-pieza 2: Resultado de taladrado en detalle	157
Figura 6-270. Sección 5: Parte 3 modelada en CATIA	157
Figura 6-271. Parte inferior 5 modelada en CATIA	157
Figura 6-272. Parte inferior 5: Trayectoria de planeado	158
Figura 6-273. Parte inferior 5: Trayectoria de contorneado exterior	158
Figura 6-274. Parte inferior 5: Resultado de contorneado exterior	159
Figura 6-275. Parte inferior 5: Trayectoria de vaciado	159
Figura 6-276. Parte inferior 5: Resultado de vaciado	159
Figura 6-277. Parte inferior 5: Trayectoria de contorneado interior	160
Figura 6-278. Parte inferior 5: Resultado de contorneado interior	160
Figura 6-279. Parte inferior 5: Resultado de taladrado en detalle	161
Figura 6-280. Cuaderna 5: Unión atornillada	161
Figura 6-281. Cuaderna 6 modelada en CATIA	162
Figura 6-282. Cuaderna 8 modelada en CATIA	162
Figura 6-283. Cuaderna 10 modelada en CATIA	163
Figura 6-284. Cuaderna 12 modelada en CATIA	163
Figura 6-285. Cuaderna 13 modelada en CATIA	164
Figura 6-286. Cuaderna 14 modelada en CATIA	164
Figura 6-287. Cuaderna 15 modelada en CATIA	165
Figura 6-288. Cuaderna 16 modelada en CATIA	165
Figura 6-289. Cuaderna 17 modelada en CATIA	166

Figura 6-290. Cuaderna 18 modelada en CATIA	166
Figura 6-291. Cuaderna 18a modelada en CATIA	167
Figura 6-292. Cuaderna 19c modelada en CATIA	167
Figura 6-293. Sujeción larguero inferior principal 19c modelada en CATIA	168
Figura 6-294. Sujeción larguero inferior 19c: Preforma	168
Figura 6-295. Sujeción larguero inferior 19c: Trayectoria de planeado	169
Figura 6-296. Sujeción larguero inferior 19c: Resultado de planeado	169
Figura 6-297. Sujeción larguero inferior 19c: Trayectoria de vaciado	170
Figura 6-298. Sujeción larguero inferior 19c: Resultado de vaciado	170
Figura 6-299. Sujeción larguero inferior 19c: Trayectoria mecanizado isoparamétrico	171
Figura 6-300. Sujeción larguero inferior 19c: Resultado mecanizado isoparamétrico	171
Figura 6-301. Sujeción larguero inferior 19c: Resultado de taladrado	172
Figura 6-302. Sujeción larguerillos inferiores 19c modelada en CATIA	172
Figura 6-303. Cuadernas colocadas en su posición final	173
Figura 6-304. Larguero inferior 1 en el entorno del fuselaje	173
Figura 6-305. Larguero inferior 1: Modificación de operación <i>Shell</i>	174
Figura 6-306. Larguero inferior 1: Detalles operaciones <i>Rib</i>	174
Figura 6-307. Larguero inferior 2 en el entorno del fuselaje	175
Figura 6-308. Larguero superior principal en el entorno del fuselaje	175
Figura 6-309. Larguero superior principal en detalle	176
Figura 6-310. Larguero superior 11-12	176
Figura 6-311. Larguero superior 11-12 en detalle	176
Figura 6-312. Larguero lateral en el entorno del fuselaje	177
Figura 6-313. Larguero lateral: Modificación de operación <i>Shell</i>	177
Figura 6-314. Larguero lateral: Detalles operaciones <i>Rib</i>	178
Figura 6-315. Larguerillos en el entorno del fuselaje	178
Figura 6-316. Larguerillos: Detalle rediseño	178
Figura 6-317. Panel de instrumentos modelado en CATIA	179
Figura 6-318. Sección 8a modelada en CATIA	180
Figura 6-319. Sección 8a: Preforma	180
Figura 6-320. Sección 8a: Trayectoria de planeado	181
Figura 6-321. Sección 8a: Trayectoria de contorneado	181
Figura 6-322. Sección 8a: Resultado de contorneado	181
Figura 6-323. Sección 8a: Trayectoria de taladrado en detalle	182
Figura 6-324. Sección 8a: Resultado de taladrado en detalle	182
Figura 6-325. Parte 1 del panel de instrumentos modelada en CATIA	183
Figura 6-326. Parte 1 del panel de instrumentos: Preforma	183
Figura 6-327. Parte 1 del panel de instrumentos: Trayectoria de planeado	184
Figura 6-328. Parte 1 del panel de instrumentos: Trayectoria de contorneado exterior en detalle	184

Figura 6-329. Parte 1 del panel de instrumentos: Resultado de contorneado exterior en detalle	185
Figura 6-330. Parte 1 del panel de instrumentos: Trayectoria de contorneado interior en detalle	185
Figura 6-331. Parte 1 del panel de instrumentos: Resultado de contorneado interior	186
Figura 6-332. Parte 1 del panel de instrumentos: Trayectoria de taladrado y escariado	186
Figura 6-333. Parte 1 del panel de instrumentos: Resultado de taladrado y escariado en detalle	187
Figura 6-334. Parte 2 del panel de instrumentos modelada en CATIA	187
Figura 6-335. Parte 2 del panel de instrumentos: Preforma	187
Figura 6-336. Parte 2 del panel de instrumentos: Trayectoria de planeado	188
Figura 6-337. Parte 2 del panel de instrumentos: Trayectoria de contorneado exterior en detalle	189
Figura 6-338. Parte 2 del panel de instrumentos: Trayectoria de contorneado interior en detalle	190
Figura 6-339. Parte 2 del panel de instrumentos: Resultado de contorneado exterior e interior	190
Figura 6-340. Parte 2 del panel de instrumentos: Resultado de taladrado y escariado en detalle	191
Figura 6-341. Panel de instrumentos: Remachado indirecto entre partes 1 y 2	191
Figura 6-342. Panel de instrumentos: Unión atornillada entre sección 8a y parte 1 del panel	192
Figura 6-343. Pedal modelado en CATIA	192
Figura 6-344. Pieza 1 del pedal modelada en CATIA	193
Figura 6-345. Pieza 1 del pedal: Trayectoria de taladrado en ambas caras	194
Figura 6-346. Pieza 1 del pedal: Resultado de taladrado	194
Figura 6-347. Pieza 2 del pedal modelada en CATIA	194
Figura 6-348. Pieza 2 del pedal-parte 2 modelada en CATIA	195
Figura 6-349. Pieza 2 del pedal-parte 2: Preforma	195
Figura 6-350. Pieza 2 del pedal-parte 2: Trayectoria y resultado de planeado	196
Figura 6-351. Pieza 2 del pedal-parte 2: Trayectoria y resultado de contorneado	196
Figura 6-352. Pieza 3 del pedal modelada en CATIA	197
Figura 6-353. Pieza 3 del pedal-parte 2 modelada en CATIA	198
Figura 6-354. Pieza 3 del pedal-parte 2: Preforma	198
Figura 6-355. Pieza 3 del pedal-parte 2: Trayectoria y resultado de planeado	199
Figura 6-356. Pieza 3 del pedal-parte 2: Trayectoria y resultado de contorneado	199
Figura 6-357. Pieza 3 del pedal-parte 3 modelada en CATIA	200
Figura 6-358. Pieza 3 del pedal-parte 4 modelada en CATIA	200
Figura 6-359. Pieza 3 del pedal-parte 4: Trayectoria y resultado de vaciado	201
Figura 6-360. Pieza 3 del pedal-parte 4: Resultado de taladrado	202
Figura 6-361. Pieza 4 del pedal modelada en CATIA	202
Figura 6-362. Pieza 4 del pedal modelada: Medidas orientativas	203
Figura 6-363. Pieza 5 del pedal modelada en CATIA	203
Figura 6-364. Pieza 5 del pedal: Diseño alternativo	204
Figura 6-365. Pieza 6 del pedal modelada en CATIA	205
Figura 6-366. Pieza 6 del pedal: Preforma	205
Figura 6-367. Pieza 6 del pedal: Trayectoria de planeado 1	206

Figura 6-368. Pieza 6 del pedal: Cuerpo de apoyo para contorneado	206
Figura 6-369. Pieza 6 del pedal: Trayectoria de contorneado	207
Figura 6-370. Pieza 6 del pedal: Resultado de contorneado	207
Figura 6-371. Pieza 6 del pedal: Trayectoria y resultado de vaciado	208
Figura 6-372. Pieza 6 del pedal: Trayectoria de desbaste	209
Figura 6-373. Pieza 6 del pedal: Resultado de desbaste	209
Figura 6-374. Pieza 6 del pedal: Trayectoria de barrido	210
Figura 6-375. Pieza 6 del pedal: Resultado de barrido	210
Figura 6-376. Pieza 6 del pedal: Contorno en fresado espiral lateral	211
Figura 6-377. Pieza 6 del pedal: Cuerpos de apoyo en fresado espiral lateral	211
Figura 6-378. Pieza 6 del pedal: Macro de aclarado en fresado espiral lateral	212
Figura 6-379. Pieza 6 del pedal: Trayectoria de desbaste	212
Figura 6-380. Pieza 6 del pedal: Resultado de desbaste	212
Figura 6-381. Pieza 6 del pedal: Trayectoria de fresado espiral posterior y anterior	213
Figura 6-382. Pieza 6 del pedal: Resultado de fresado espiral posterior y anterior	213
Figura 6-383. Pieza 6 del pedal: Trayectoria de fresado espiral inferior	214
Figura 6-384. Pieza 6 del pedal: Resultado de fresado espiral inferior y taladrado	214
Figura 6-385. Pedal: Ensamblaje piezas 3 y 5	215
Figura 6-386. Pedal: Ensamblaje piezas 2 y 3	215
Figura 6-387. Pedal: Ensamblaje piezas 1 y 2	215
Figura 6-388. Pedal: Ensamblaje piezas 1 y 4	216
Figura 6-389. Pedal: Ensamblaje piezas 3 y 6	216
Figura 6-390. <i>Rudder bar</i> y su soporte modelados en CATIA	217
Figura 6-391. Parte 1 de <i>rudder bar</i> modelada en CATIA	217
Figura 6-392. Parte 1 de <i>rudder bar</i> : Preforma	218
Figura 6-393. Parte 1 de <i>rudder bar</i> : Trayectoria de planeado	218
Figura 6-394. Parte 1 de <i>rudder bar</i> : Trayectoria de contorneado exterior	219
Figura 6-395. Parte 1 de <i>rudder bar</i> : Resultado de contorneado exterior	219
Figura 6-396. Parte 1 de <i>rudder bar</i> : Trayectoria de vaciado	220
Figura 6-397. Parte 1 de <i>rudder bar</i> : Resultado de vaciado	220
Figura 6-398. Parte 1 de <i>rudder bar</i> : Trayectoria de desbaste	221
Figura 6-399. Parte 1 de <i>rudder bar</i> : Resultado de desbaste	221
Figura 6-400. Parte 1 de <i>rudder bar</i> : Trayectoria de barrido	221
Figura 6-401. Parte 1 de <i>rudder bar</i> : Resultado de barrido	221
Figura 6-402. Parte 1 de <i>rudder bar</i> : Trayectoria de contorneado interior	222
Figura 6-403. Parte 1 de <i>rudder bar</i> : Resultado de contorneado interior	223
Figura 6-404. Parte 1 de <i>rudder bar</i> : Trayectoria de taladrado	223
Figura 6-405. Parte 1 de <i>rudder bar</i> : Resultado de taladrado	224
Figura 6-406. Parte 2 de <i>rudder bar</i> modelada en CATIA	224

Figura 6-407. Parte 2 de <i>rudder bar</i> : Taladros pasantes mecanizados en CNC	225
Figura 6-408. Parte 3 de <i>rudder bar</i> modelada en CATIA	225
Figura 6-409. Parte 3 de <i>rudder bar</i> : Perfil de extrusión	226
Figura 6-410. Parte 3 de <i>rudder bar</i> : Trayectoria y resultado de vaciado	227
Figura 6-411. Parte 3 de <i>rudder bar</i> : Taladros pasantes mecanizados en CNC	227
Figura 6-412. Parte 4 de <i>rudder bar</i> modelada en CATIA	228
Figura 6-413. Parte 4 de <i>rudder bar</i> : Preforma	228
Figura 6-414. Parte 4 de <i>rudder bar</i> : Trayectoria de planeado	229
Figura 6-415. Parte 4 de <i>rudder bar</i> : Trayectoria de vaciado	229
Figura 6-416. Parte 4 de <i>rudder bar</i> : Resultado de vaciado	230
Figura 6-417. Parte 4 de <i>rudder bar</i> : Trayectoria de taladrado	230
Figura 6-418. Parte 4 de <i>rudder bar</i> : Trayectoria de contorneado y mecanizado isoparamétrico	231
Figura 6-419. Parte 4 de <i>rudder bar</i> : Resultado de contorneado y mecanizado isoparamétrico	231
Figura 6-420. Parte 5 de <i>rudder bar</i> modelada en CATIA	231
Figura 6-421. Parte 5 de <i>rudder bar</i> : Preforma	232
Figura 6-422. Parte 5 de <i>rudder bar</i> : Resultado de contorneado	232
Figura 6-423. Parte 5 de <i>rudder bar</i> : Resultado de vaciado	233
Figura 6-424. Parte 5 de <i>rudder bar</i> : Resultado de taladrado	233
Figura 6-425. Parte 6 de <i>rudder bar</i> modelada en CATIA	234
Figura 6-426. Parte 7 de <i>rudder bar</i> modelada en CATIA	234
Figura 6-427. Parte 8 de <i>rudder bar</i> modelada en CATIA	234
Figura 6-428. Parte 9 de <i>rudder bar</i> modelada en CATIA	234
Figura 6-429. Parte 9 de <i>rudder bar</i> : Resultado de taladrado en detalle	235
Figura 6-430. Parte 1 del soporte modelada en CATIA	235
Figura 6-431. Parte 1 del soporte: Preforma	235
Figura 6-432. Parte 1 del soporte: Trayectoria y resultado de contorneado	236
Figura 6-433. Parte 1 del soporte: Resultado de vaciado superior	237
Figura 6-434. Parte 1 del soporte: Trayectoria y resultado de vaciado inferior	238
Figura 6-435. Parte 2 del soporte modelada en CATIA	238
Figura 6-436. Joystick modelado en CATIA	239
Figura 6-437. Soporte vertical modelado en CATIA	239
Figura 6-438. Soporte vertical: Componente inferior con detalle de la cavidad	240
Figura 6-439. Soporte vertical: Preforma del componente superior	240
Figura 6-440. Soporte vertical: Geometría a mecanizar en vaciado del componente superior	241
Figura 6-441. Soporte vertical: Trayectoria de vaciado del componente superior	242
Figura 6-442. Soporte vertical: Resultado de contorneado y vaciado del componente superior	242
Figura 6-443. Soporte vertical: Trayectoria de barrido del componente superior	243
Figura 6-444. Soporte vertical: Resultado de barrido y taladrado del componente superior	243
Figura 6-445. Soporte vertical: Preforma del componente medio	244

Figura 6-446. Soporte vertical: Resultado final del componente medio	245
Figura 6-447. Sujeción 1 modelada en CATIA	245
Figura 6-448. Sujeción 1: Preforma	245
Figura 6-449. Sujeción 1: Trayectoria y resultado de contorneado	246
Figura 6-450. Sujeción1: Resultado de taladrado	246
Figura 6-451. Sujeción 2 modelada en CATIA	247
Figura 6-452. Pieza móvil superior modelada en CATIA	247
Figura 6-453. Pieza móvil superior: Resultado de laminación (preforma 1)	248
Figura 6-454. Pieza móvil superior: Resultado de torneado (preforma 2)	248
Figura 6-455. Pieza móvil superior: Trayectoria de desbaste 1	249
Figura 6-456. Pieza móvil superior: Resultado de desbaste	249
Figura 6-457. Pieza móvil superior: Trayectoria de barrido 5	250
Figura 6-458. Pieza móvil superior: Resultado de barrido	250
Figura 6-459. Pieza móvil superior: Resultado de taladrado en detalle	251
Figura 6-460. Engranaje: Rueda dentada modelada en CATIA	251
Figura 6-461. Engranaje: Cadena articulada modelada en CATIA	251
Figura 6-462. Engranaje: Eslabones de una cadena de rodillos	252
Figura 6-463. Mango modelado en CATIA	252
Figura 6-464. Joystick: Unión atornillada	253
Figura 6-465. Joystick: Unión mecánica	253
Figura 6-466. Disposición de las pieles del Spitfire Mk IX por un lateral	254
Figura 6-467. Cubierta del fuselaje modelada en CATIA	254
Figura 6-468. Colocación sucesiva de cuadernas	255
Figura 6-469. Marcado de posición de taladros con las escuadras de unión	255
Figura 6-470. Taladrado de cuadernas y largueros	256
Figura 6-471. Remachado de escuadras de unión entre cuadernas y largueros	257
Figura 6-472. Remachado escuadra de unión entre cuadernas y larguerillos	258
Figura 6-473. Prolongador/codo para remachadora de remaches ciegos	258
Figura 6-474. Piel sobre el tramo 9-12	258
Figura 6-475. Taladrado de cuadernas y pieles	259
Figura 6-476. Unión pinzada con cleco	260
Figura 6-477. Taladrado de pieles y larguerillos	260
Figura 6-478. Avellanador roscado y cuerpo micrométrico	260
Figura 6-479. Remachado indirecto pieles	261
Figura 6-480. <i>Cowlings</i> del Spitfire Mk IX	262
Figura 6-481. <i>Cowlings</i> modelado en CATIA	262
Figura 6-482. Portador de motor en Spitfire real	263
Figura 6-483. Portador de motor en modelo CAD	263
Figura 6-484. Sujeción de la cubierta. Izquierda interior de la aeronave y derecha exterior	264

Figura 6-485. Secciones de <i>cowlings</i> modeladas en CATIA	264
Figura 6-486. Sección 0: Perfil utilizado en la operación <i>Rib.1</i>	265
Figura 6-487. Sección 0: <i>Sketch</i> y resultado de la extrusión	265
Figura 6-488. Sección 0: <i>Sketch</i> y resultado del vaciado	266
Figura 6-489. Sección 12: Perfil utilizado en la operación <i>Rib.1</i>	266
Figura 6-490. Sección 12: Contorno seguido en la operación <i>Rib.2</i>	267
Figura 6-491. Sección 12 modelada en CATIA	267
Figura 6-492. Sección 81 modelada en CATIA	268
Figura 6-493. Secciones de <i>cowlings</i>	268
Figura 6-494. Sección 81: Preforma	269
Figura 6-495. Sección 81: Resultado de contorneado exterior	269
Figura 6-496. Sección 81: Trayectoria de contorneado interior 2	270
Figura 6-497. Sección 81: Resultado de contorneado interior	270
Figura 6-498. <i>Lower cowling</i> del Spitfire Mk IX	271
Figura 6-499. Cubierta de <i>cowlings</i> modelada en CATIA	271
Figura 6-500. <i>Spinner</i> : Partes 1, 2 y 3 en el diseño del TFG	272
Figura 6-501. Pieza 1 de <i>spinner</i> : <i>Sketch</i> y resultado de vaciado	273
Figura 6-502. Pieza 1 de <i>spinner</i> : Preforma	273
Figura 6-503. Pieza 1 de <i>spinner</i> : Trayectoria de planeado	274
Figura 6-504. Pieza 1 de <i>spinner</i> : Trayectoria de desbaste 1	274
Figura 6-505. Pieza 1 de <i>spinner</i> : Resultado de desbaste	275
Figura 6-506. Pieza 1 de <i>spinner</i> : Trayectoria de barrido 1	275
Figura 6-507. Pieza 1 de <i>spinner</i> : Resultado de barrido	276
Figura 6-508. Pieza 1 de <i>spinner</i> : Trayectoria de taladrado	277
Figura 6-509. Pieza 2 de <i>spinner</i> del Spitfire Mk IX	277
Figura 6-510. Pieza 2 de <i>spinner</i> : <i>Sketch</i> y resultado de extrusión	278
Figura 6-511. Pieza 2 de <i>spinner</i> modelada en CATIA	278
Figura 6-512. Pieza 2 de <i>spinner</i> modelada	279
Figura 6-513. Pieza 2 de <i>spinner</i> : Trayectoria de contorneado	279
Figura 6-514. Pieza 2 de <i>spinner</i> : Resultado de contorneado	280
Figura 6-515. Corona circular real y modelada en CATIA	280
Figura 6-516. Pieza 2 de <i>spinner</i> : Proceso de taladrado	280
Figura 6-517. Pieza 2 de <i>spinner</i> : Resultado de taladrado	281
Figura 6-518. <i>Spinner</i> : Unión atornillada entre piezas	281
Figura 6-519. Hélice modelada en CATIA	282
Figura 6-520. Pala modelada en CATIA	283
Figura 6-521. Hélice: Eje transmisor modelado en CATIA	283
Figura 6-522. Hélice: Estructura de fijación modelada en CATIA	284
Figura 6-523. <i>Cowlings</i> : Taladrado de diámetro 3.18mm	285



Figura 6-524. <i>Cowlings</i> : Remachado de las uniones entre secciones y perfiles	285
Figura 6-525. <i>Cowlings</i> : Taladrado de diámetro 6mm	286
Figura 6-526. <i>Cowlings</i> : Unión hélice- <i>spinner</i>	286
Figura 6-527. <i>Canopy</i> del Spitfire Mk IX	287
Figura 6-528. <i>Canopy</i> modelado en CATIA	288
Figura 6-529. <i>Windscreen canopy</i> modelado en CATIA	288
Figura 6-530. Parte frontal de <i>windscreen canopy</i> : Preforma	289
Figura 6-531. Parte frontal de <i>windscreen canopy</i> : Trayectoria de planeado	289
Figura 6-532. Parte frontal de <i>windscreen canopy</i> : Trayectoria de contorneado exterior	290
Figura 6-533. Parte frontal de <i>windscreen canopy</i> : Resultado de contorneado exterior	290
Figura 6-534. Parte frontal de <i>windscreen canopy</i> : Trayectoria de contorneado interior	291
Figura 6-535. Parte frontal de <i>windscreen canopy</i> : Resultado de contorneado interior	291
Figura 6-536. Parte frontal de <i>windscreen canopy</i> : Trayectoria de contorneado interior inferior	292
Figura 6-537. Parte frontal de <i>windscreen canopy</i> : Resultado de contorneado interior inferior	292
Figura 6-538. Parte lateral de <i>windscreen canopy</i> : Preforma	292
Figura 6-539. Parte lateral de <i>windscreen canopy</i> : Trayectoria de planeado	293
Figura 6-540. Parte lateral de <i>windscreen canopy</i> : Resultado de contorneado interior	293
Figura 6-541. Parte lateral de <i>windscreen canopy</i> : Trayectoria de vaciado	294
Figura 6-542. Parte lateral de <i>windscreen canopy</i> : Resultado de vaciado	294
Figura 6-543. Parte lateral de <i>windscreen canopy</i> : Trayectoria de fresado espiral	295
Figura 6-544. Parte lateral de <i>windscreen canopy</i> : Resultado de fresado espiral	295
Figura 6-545. Componentes 3 y 4 de <i>windscreen canopy</i> modelados en CATIA	295
Figura 6-546. Espejo retrovisor de <i>windscreen canopy</i> modelado en CATIA	296
Figura 6-547. <i>Sliding hood</i> modelado en CATIA	296
Figura 6-548. <i>Windscreen canopy</i> : Taladrado de diámetro 3.18mm y avellanado	297
Figura 6-549. <i>Windscreen canopy</i> : Remachado	297
Figura 6-550. <i>Sliding hood</i> : Unión soldada	298
Figura 6-551. Cola del Spitfire Mk IX	299
Figura 6-552. Cola modelada en CATIA	299
Figura 6-553. <i>Fin fuse</i> modelado en CATIA	300
Figura 6-554. Sección 20: Preforma	301
Figura 6-555. Sección 20: Trayectoria de planeado	301
Figura 6-556. Sección 20: Trayectoria de contorneado exterior	302
Figura 6-557. Sección 20: Resultado de contorneado	302
Figura 6-558. <i>Fin fuse</i> : Cubierta real y cubierta modelada en CATIA	303
Figura 6-559. <i>Fin fuse</i> : Colocación de secciones y de larguerillos entre secciones EOP y 22	303
Figura 6-560. <i>Fin fuse</i> : Taladrado de larguerillos y secciones para su unión	304
Figura 6-561. <i>Fin fuse</i> : Remachado de las uniones entre secciones y larguerillos	304
Figura 6-562. Timón de dirección modelado en CATIA	305

Figura 6-563. Timón de dirección: Estación 7	306
Figura 6-564. Estación 7 del timón de dirección: Preformas de las placas	306
Figura 6-565. Estación 7 del timón de dirección: Trayectoria de planeado	307
Figura 6-566. Estación 7 del timón de profundidad: Trayectoria de contorneado	308
Figura 6-567. Estación 7 del timón de profundidad: Resultado de contorneado	308
Figura 6-568. Estación 7 del timón de dirección: Preforma	309
Figura 6-569. Barras que forman la estructura del timón de dirección	309
Figura 6-570. Placas que forman la estructura del timón de dirección	310
Figura 6-571. Estabilizador horizontal modelado en CATIA	310
Figura 6-572. Estación 1 del estabilizador horizontal: Preforma	311
Figura 6-573. Estación 1 del estabilizador horizontal: Trayectoria de planeado	311
Figura 6-574. Estación 1 del estabilizador horizontal: Trayectoria de contorneado exterior	312
Figura 6-575. Estación 1 del estabilizador horizontal: Resultado de contorneado	312
Figura 6-576. Estabilizador horizontal: Taladrado de estaciones y larguerillos	313
Figura 6-577. Estabilizador horizontal: Remachado de las uniones entre estaciones y larguerillos	313
Figura 6-578. Timón de profundidad modelado en CATIA	314
Figura 6-579. <i>Trim tab</i> modelado en CATIA	315
Figura 6-580. Ala del Spitfire Mk IX	316
Figura 6-581. Ala modelada en CATIA	316
Figura 6-582. Costilla 1 modelada en CATIA	317
Figura 6-583. Costilla 1: Preforma	317
Figura 6-584. Costilla 1: Trayectoria de planeado	318
Figura 6-585. Costilla 1: Trayectoria de contorneado exterior	318
Figura 6-586. Costilla 1: Trayectoria de contorneado interior	319
Figura 6-587. Costilla 1: Trayectoria de vaciado	319
Figura 6-588. Costilla 1: Resultado de mecanizado	319
Figura 6-589. Costilla 1: Doblado de chapa	320
Figura 6-590. Largueros modelados en CATIA	320
Figura 6-591. Cubierta de ala modelada en CATIA	321
Figura 6-592. Alerón del Spitfire	321
Figura 6-593. Alerón modelado en CATIA	321
Figura 6-594. Flaps externo e interno del Spitfire	322
Figura 6-595. Flaps externo e interno modelados en CATIA	322
Figura 6-596. Unión alerón-estructura principal	323
Figura 6-597. Unión flaps-estructura principal	323
Figura 6-598. Tren de aterrizaje fijo del Spitfire Mk IX	324
Figura 6-599. Tren de aterrizaje fijo modelado en CATIA	324
Figura 6-600. Tren de aterrizaje retráctil del Spitfire Mk IX	325
Figura 6-601. Tren de aterrizaje retráctil modelado en CATIA	325

Figura 6-602. Ejemplo de “avión en gato”	326
Figura 6-603. <i>Strut</i> modelado en CATIA	327
Figura 6-604. <i>Strut</i> -pieza 1: Perfiles de extrusión	327
Figura 6-605. <i>Strut</i> -pieza 1. Resultado de extrusión 1	327
Figura 6-606. <i>Strut</i> -pieza 1: Resultado de extrusión 2 y corte	328
Figura 6-607. <i>Strut</i> -pieza 1: Resultado de primera unión	328
Figura 6-608. <i>Strut</i> -pieza 1: Resultado de segunda unión	328
Figura 6-609. <i>Strut</i> -pieza 1: Resultado de conformado rotativo	329
Figura 6-610. <i>Strut</i> -pieza 1: Resultado de soldadura 1	329
Figura 6-611. <i>Strut</i> -pieza 1: Preforma de placa de sujeción	329
Figura 6-612. <i>Strut</i> -pieza 1: Trayectoria de planeado	330
Figura 6-613. <i>Strut</i> -pieza 1: Trayectoria de contorneado	330
Figura 6-614. <i>Strut</i> -pieza 1: Resultado de contorneado	330
Figura 6-615. <i>Strut</i> -pieza 1: Resultado de taladrado 1	331
Figura 6-616. <i>Strut</i> -pieza 1: Resultado de soldadura 2	331
Figura 6-617. <i>Strut</i> -pieza 1: Resultado de taladrado 2 en detalle	332
Figura 6-618. <i>Strut</i> -pieza 2: Preforma	332
Figura 6-619. <i>Strut</i> -pieza 2: Trayectoria de planeado	333
Figura 6-620. <i>Strut</i> -pieza 2: Trayectoria de primer contorneado	333
Figura 6-621. <i>Strut</i> -pieza 2: Trayectoria de segundo contorneado	334
Figura 6-622. <i>Strut</i> -pieza 2: Trayectoria de tercer contorneado	334
Figura 6-623. <i>Strut</i> -pieza 2: Resultado de contorneado	335
Figura 6-624. <i>Strut</i> -pieza 2: Resultado de vaciado	335
Figura 6-625. <i>Strut</i> -pieza 2: Resultado de taladrado	336
Figura 6-626. <i>Yoke</i> modelado en CATIA	336
Figura 6-627. Rueda tren fijo modelada en CATIA	337
Figura 6-628. Tren de aterrizaje fijo: Unión atornillada de partes del <i>strut</i>	337
Figura 6-629. Tren de aterrizaje fijo: Unión con perno	338
Figura 6-630. Tren de aterrizaje fijo: Unión entre rueda y <i>yoke</i>	338
Figura 6-631. <i>Oleo strut</i> modelado en CATIA	339
Figura 6-632. <i>Port pintle</i> modelado en CATIA	339
Figura 6-633. <i>Port pintle</i> : Partes	340
Figura 6-634. <i>Port pintle</i> : Preforma	340
Figura 6-635. <i>Port pintle</i> : Trayectoria de planeado	341
Figura 6-636. <i>Port pintle</i> : Trayectoria de contorneado 1	342
Figura 6-637. <i>Port pintle</i> : Resultado de contorneado 1	342
Figura 6-638. <i>Port pintle</i> : Trayectoria de contorneado 2	343
Figura 6-639. <i>Port pintle</i> : Resultado de contorneado 2	343
Figura 6-640. <i>Port pintle</i> : Trayectoria de barrido	344

Figura 6-641. <i>Port pintle</i> : Resultado de barrido	344
Figura 6-642. <i>Port pintle</i> : Resultado de taladrado	345
Figura 6-643. Rueda tren retráctil modelada en CATIA	345
Figura 6-644. Recubrimiento del tren retráctil modelado en CATIA	346
Figura 6-645. Recubrimiento del tren retráctil: Resultado de doblado de chapa	346
Figura 6-646. Recubrimiento del tren retráctil: Trayectoria de contorneado	347
Figura 6-647. Recubrimiento del tren retráctil: Resultado de contorneado	347
Figura 6-648. Tren de aterrizaje retráctil: Unión mecánica <i>oleo strut-port pintle</i>	348
Figura 6-649. Tren de aterrizaje retráctil: Unión remachada oleo strut-recubrimiento	349
Figura 6-650. Tren de aterrizaje retráctil: Unión atornillada rueda- <i>oleo strut</i>	349
Figura 6-651. <i>Final Assembly Line</i> (FAL) de Airbus Hamburg	350
Figura 6-652. Unión Fuselaje- <i>Cowling</i>	350
Figura 6-653. Unión Cola-Tren fijo	351
Figura 6-654. Unión Fuselaje-Cola	351
Figura 6-655. Unión Fuselaje- <i>Canopy</i>	352
Figura 6-656. Herrajes de unión	352
Figura 6-657. Unión Fuselaje-Ala	353
Figura 6-658. Estructura inferior de la cuaderna 5	353
Figura 6-659. <i>Wing fillet</i> del Spitfire	354
Figura 6-660. Unión Ala-Tren retráctil	354
Figura 6-661. Ensamblaje completo del Spitfire Mk IX	355





# 1 INTRODUCCIÓN

---

En el presente Trabajo de Fin de Máster<sup>1</sup> se lleva a cabo la descripción y recreación del proceso de fabricación y/o restauración del Supermarine Spitfire Mk IX siguiendo la información de diferentes fuentes bibliográficas, es decir, el objeto del proyecto será explicar cómo se fabrica/restaura el avión en cuestión y recrear este proceso mediante modelos digitales a través de la interpretación de determinadas instrucciones de construcción recopiladas en la bibliografía de referencia.

Por tanto, nuestro proyecto tiene como objetivo la recuperación digital de patrimonio aeronáutico, como ampliación al Trabajo de Fin de Grado<sup>2</sup> titulado *Modelado con CATIA V5 y recreación virtual del avión Spitfire Mk IX*.

Como hemos mencionado anteriormente, trabajaremos con información detallada de las operaciones seguidas a la hora de construir este modelo de avión. Para simular el proceso de fabricación y/o restauración de los diferentes componentes usaremos el software CATIA V5 (*Computer-Aided Three dimensional Interactive Application*), uno de los programas más potentes en materia de diseño, fabricación y análisis industrial.

El avión seleccionado es uno de los cazas más destacados e icónicos de la Segunda Guerra Mundial, el Supermarine Spitfire Mk IX<sup>3</sup>, objeto actualmente de numerosos proyectos de restauración. En apartados posteriores lo trataremos con detalle.

## 1.1 Propósito y objetivos

A continuación se muestran los objetivos que se desean cubrir mediante la realización del trabajo por orden de prioridad:

- Explicar cuál es el proceso seguido durante la fabricación y/o restauración del Supermarine Spitfire Mk IX y generar modelos digitales que recreen las operaciones con la máxima fidelidad posible. En esta tarea estaremos limitados por la información disponible, principalmente por la falta de detalles en la obtención de componentes, así como por la complejidad de las herramientas que nos proporciona el software utilizado.
- Analizar la metodología empleada a la hora de recrear las operaciones a las que está sujeto el avión. Para ello expondremos el uso de la herramienta CATIA.
- Realizar una investigación profunda acerca del Supermarine Spitfire. Expondremos su importancia dentro del mundo de la aviación y de la guerra, su historial operacional y el legado que deja.

## 1.2 Ámbito, alcance y límites

Este trabajo se centrará en el proceso de fabricación y/o restauración del mencionado caza británico, por lo que trabajaremos en el ámbito de la fabricación aeronáutica como tal, y de la fabricación asistida por ordenador.

Antes de comenzar con la realización del trabajo, debemos definir el alcance del mismo. Aunque éste estará ligado a las limitaciones y dificultades que nos encontraremos por el camino, podemos hacer una estimación del

---

<sup>1</sup> Trabajo de Fin de Máster, en adelante TFM.

<sup>2</sup> Trabajo de Fin de Grado, en adelante TFG.

<sup>3</sup> El distintivo Mk IX hace referencia a una de las variantes desarrolladas de este caza.

mismo en función de la información y medios disponibles. En un principio, buscamos describir la fabricación de todas las partes modeladas anteriormente, así como procesar digitalmente todas aquellas partes que consideremos importantes y representativas del proceso de fabricación/restauración. Sin embargo, todo ello estaría sujeto a cambios dependiendo de las circunstancias y del tiempo disponible para la realización del proyecto.

En cuanto a las limitaciones, debemos tener en cuenta que definir y recrear la fabricación de todas las partes de forma completa y fiel a la realidad, es imposible en términos de tiempo. Aparte, debemos tener en cuenta que la información disponible también es limitada y que durante el proceso surgirán problemas derivados del conocimiento del software. Concluimos por tanto que, para el estudio completo de un avión de estas características, se necesitarían varios equipos de ingenieros. Por ello, se ha acordado con el tutor, tal y como decíamos a la hora de establecer el alcance del trabajo, que se tomarán componentes representativos del proceso de fabricación/restauración para su recreación virtual.

### 1.3 Metodología empleada

En este apartado expondremos el porqué de la elección de CATIA V5 para nuestro proyecto, describiendo parte de las características específicas que lo hacen idóneo para su uso.

CATIA nace en 1977 de la mano de Dassault System, importante empresa dentro del mundo de la ingeniería, propietaria del software y encargada de su desarrollo y venta. Inicialmente desarrollado para la industria aeronáutica, su uso se ha ido extendiendo con los años a otros campos, tales como, la industria automovilística, el equipamiento industrial, altas tecnologías, productos de consumo o arquitectura.

Como fruto del desarrollo experimentado desde su lanzamiento, CATIA es considerada hoy día una de las herramientas más potentes para el procesamiento de archivos CAD, proporcionando apoyo desde la concepción del diseño hasta la producción y el análisis de productos.

Algunas de las empresas de ingeniería más importantes del mundo hacen uso de este software para llevar a cabo sus proyectos. Por categorías, tenemos a continuación varios ejemplos:

- Industria automovilística: Porsche, BMW...
- Altas tecnologías: Nikon, Nokia...
- Industria aeronáutica: Boeing, Airbus, Bombardier, Embraer o Dassault Aviation.

Aunque la principal razón para el uso de CATIA es la familiarización con el software y la experiencia adquirida a raíz de su uso en otros proyectos personales y asignaturas cursadas en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería, su elección se ve reforzada por su extendido uso en empresas punteras del mundo de la ingeniería y, en particular, por su importancia en el ámbito aeronáutico.

Otras razones de peso para su elección son:

- Disposición de un módulo de fabricación visual, intuitivo, completo y avanzado.
- Su uso en el anterior proyecto para el desarrollo de las piezas y conjuntos de los que partimos.

Una vez expuestos los motivos para usar CATIA, pasamos a analizar la metodología empleada a la hora de desarrollar nuestro TFM.

Una de las primeras tareas a realizar en un proyecto de tal envergadura, es identificar los módulos en que podemos dividir la aeronave, así como los conjuntos, subconjuntos y piezas que los componen, es decir, la estructura ramificada de materiales. Sin embargo, este primer paso lo heredamos del proyecto realizado con anterioridad, donde ya fue analizado minuciosamente y llevado a cabo de forma exitosa.

La importancia de este primer paso queda reflejada en los sistemas o subsistemas finales, donde si las piezas son introducidas de forma correcta, podremos conseguir que su movimiento (impuesto a partir de los grados de libertad) se realice de acuerdo al diseño.

Recuperando imágenes usadas durante el TFG, a continuación podemos ver los módulos principales en que dividimos la aeronave y, centrándonos en el fuselaje, los conjuntos, subconjuntos y piezas que componen este



módulo en cuestión.

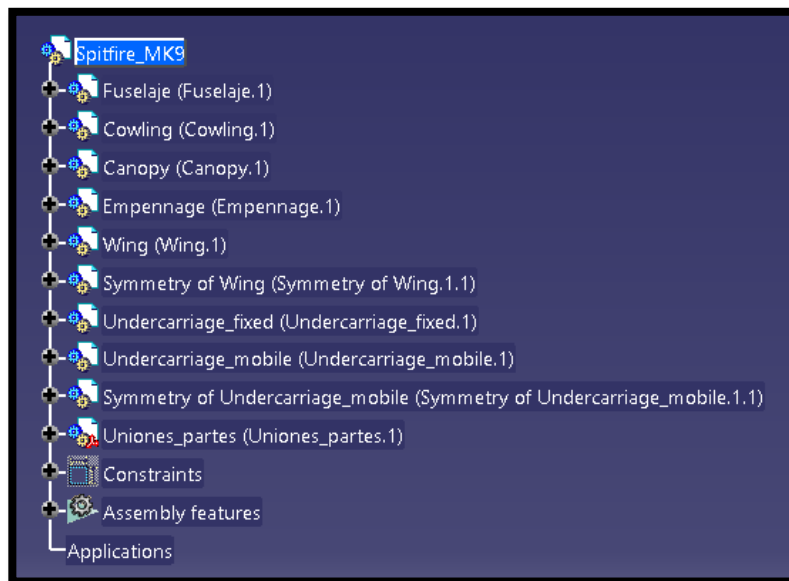


Figura 1-1. Estructura ramificada del avión completo

























Figura 1-2. Estructura ramificada del fuselaje


Teniendo en cuenta que en el trabajo actual nos centraremos en el proceso de fabricación y/o restauración del Spitfire, debemos determinar cuáles de estos componentes son representativos del proceso para su posterior recreación virtual.
















A continuación describiremos las herramientas que utilizaremos dentro de lo que CATIA nos ofrece.

- **Módulos de diseño y ensamblaje:** En principio no necesitaríamos usar estos módulos, ya que este trabajo está destinado a la recreación de procesos de fabricación/restauración de componentes de la aeronave ya diseñados. Sin embargo, durante la realización del mismo se ha necesitado rediseñar algunos de estos componentes.







En el diseño de cada *CATPart* usaremos dentro de *Mechanical Design/Part Design* (


-  **Sketch:** Conexión de curvas o rectas que forman un perfil plano y normalmente cerrado. También usaremos esta herramienta en el módulo de superficies.
-  **Pad:** Extrusión de perfiles cerrados según dirección lineal.
-  **Pocket:** Vaciado por extrusión de un sólido ya creado.
-  **Shaft:** Generación de sólidos mediante revolución de perfil alrededor de un eje de revolución.
-  **Hole:** Taladrado de superficies.
-  **Rib:** Extrusión de perfil sobre una curva guía.
-  **Slot:** Vaciado de perfil sobre una curva guía.
-  **Multi-sections Solid:** Creación de sólidos de acuerdo a un patrón de secciones variables.
-  **Removed Multi-sections Solid:** Vaciado de sólidos de acuerdo a un patrón de secciones variables.
-  **Edge Fillet:** Realiza redondeos en aristas.
-  **Chamfer:** Realiza chaflanes en las aristas.
-  **Thread/Tap:** Realiza roscado interno o externo alrededor de una superficie cilíndrica.
-  **Split:** Recorte de sólidos con superficies auxiliares.
-  **Thick Surface:** Da espesor a una superficie.
-  **Circular Pattern:** Repetición de elementos según un patrón circular.
-  **Shell:** Vaciado de sólidos con selección del grosor resultante de pared deseado y de las caras a eliminar.
-  **Mirror:** Operación de simetría con respecto a un plano.
-  **Add:** Operación booleana de suma.
-  **Remove:** Operación booleana de resta.
-  **Union Trim:** Operación booleana de ensamblaje que elimina la parte sobrante.
-  **Constraint y Constraint Defined in Dialog Box:** Relación entre geometrías en 2D.

Además en el módulo de superficies, *Shape/Generative Shape Design* ():
















-  **Extract:** Permite extraer un elemento de otro previamente creado.
-  **Intersection:** Obtención de la intersección de dos elementos.
-  **Multi-Sections Surface:** Creación de superficie a partir de una serie de secciones variables.
-  **Split:** Recorte de superficies o curvas mediante un elemento de corte.
-  **Trim:** Recorte de dos superficies o curvas entre sí.
-  **Helix:** Creación de hélice en una dirección dada.
-  **Extrude:** Creación de superficies regladas por extrusión de contorno o curva bidimensional.
-  **Fill:** Creación de superficies a partir de contornos cerrados.
-  **Blend:** Creación de superficie de conexión entre dos elementos alámbricos.
-  **Join:** Unión de superficies adyacentes.
-  **Volume extrude:** Creación de volumen por extrusión de contorno.
-  **Thick Surface:** Da espesor a una superficie.
-  **Add:** Operación booleana de suma.
-  **Remove:** Operación booleana de resta.
-  **Union Trim:** Operación booleana de ensamblaje que elimina la parte sobrante.

Por último, dentro del módulo de ensamblaje (*Mechanical Design/Assembly Design*):

-  **Fix:** Fija un elemento y en torno a este se van fijando los grados de libertad de los demás.
-  **Coincidence:** Coincidencia entre ejes.
-  **Contact:** Contacto de caras.
-  **Offset:** Distancia entre caras.
-  **Fix together:** permite fijar un elemento a otro.
-  **Angle:** Ángulo entre caras, permite establecer paralelismo o perpendicularidad.

- **Módulo de fabricación:** A continuación se muestran las herramientas que se han usado para simular las operaciones de mecanizado requeridas, *Machining/Advanced machining* ():

-  **Part operation:** Selección del entorno de trabajo.

-  **Machine:** Selección de la máquina CNC.
  -  **Reference machining axis system:** Selección del sistema de referencia.
  -  **Product or Part:** Selección del archivo CATIA (*CATProduct* o *CATPart*) sobre el que trabajaremos en el entorno virtual.
  -  **Design part for simulation:** Selección de la pieza final del archivo cargado. Resultado del proceso simulado.
  -  **Stock:** Selección de la preforma del archivo cargado.
- 
-  **Drilling:** Operación de taladrado (mecanizado prismático).
  -  **Reaming:** Operación de escariado (mecanizado prismático).
  -  **Pocketing:** Operación de vaciado/cajeado (mecanizado prismático).
  -  **Facing:** Operación de planeado (mecanizado prismático).
  -  **Profile Contouring:** Operación de contorneado (mecanizado prismático).
  -  **Roughing:** Operación de desbaste (mecanizado de superficies).
  -  **Sweeping:** Operación de barrido (mecanizado de superficies).
  -  **Spiral Milling:** Operación de fresado espiral (mecanizado de superficies).
  -  **Isoparametric Machining:** Operación de mecanizado isoparamétrico (mecanizado de superficies).
  -  **Tool Change:** Cambio de herramienta.

## 2 ESTRUCTURA DEL TRABAJO

---

Una vez expuestos temas de gran importancia en el desarrollo del proyecto como son los objetivos que se desean cumplir, el ámbito de trabajo, el grado de profundidad o la metodología empleada, pasamos a tratar cual es la estructura que seguirá de ahora en adelante el documento.

Para establecer la estructura y orden de los datos y partes del TFM nos basamos en la *Normativa de los Trabajos Fin de Máster* de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Sevilla.

### 2.1 Datos de partida

Antes de realizar la propuesta definitiva de TFM al tutor, debemos analizar las fuentes de información de las que disponemos, es decir, nuestro primer propósito será estudiar la viabilidad del proyecto en base a la información que tendremos a nuestro alcance.

Por tanto, en la primera parte del documento hablaremos acerca de:

- La investigación bibliográfica llevada a cabo y los resultados de la misma.
- La historia del Supermarine Spitfire.

### 2.2 Proceso de fabricación y/o restauración del Supermarine Spitfire

Esta parte del documento es la parte principal del trabajo. En ella trataremos el proceso de fabricación y/o restauración en sí, es decir, aquí mostraremos el avance del trabajo que hemos llevado a cabo. Para ello explicaremos la forma de proceder a la hora de fabricar o restaurar un ejemplar del Supermarine Spitfire, así como los pasos seguidos en la recreación virtual de algunas de las operaciones necesarias para la obtención de una pieza, componente o conjunto del avión.

### 2.3 Parte final del documento

Por último, en esta parte cerramos la redacción de la memoria mediante las conclusiones que extraemos de la realización del trabajo, así como su posible continuación en un futuro, y la bibliografía utilizada.



### 3 PUNTO DE PARTIDA. DOCUMENTACIÓN

---

Después de la experiencia tan satisfactoria con la realización del TFG, la primera idea fue trabajar nuevamente con el Departamento de Ingeniería Gráfica y, más concretamente, con el software CATIA. En un principio la idea era comenzar un nuevo proyecto de modelado 3D, pero surgió la alternativa de abrir una nueva vía usando como base el trabajo anterior para realizar algún tipo de posprocesado del modelo.

Una vez realizada esta propuesta, son tres las opciones que planteamos:

- Análisis estructural de la aeronave.
- Análisis aerodinámico de la aeronave.
- Descripción y recreación del proceso de fabricación y/o restauración de la aeronave.

Con estas tres ideas en mente, analizamos la viabilidad de cada uno de los proyectos, así como sus pros y contra, a fin de seleccionar el tema a tratar. Finalmente nos decidimos por la tercera opción, es decir, la descripción y recreación del proceso de fabricación y/o restauración. En el caso de la primera opción, el principal inconveniente era la poca experiencia a nivel de usuario en manejo de software de elemento finito y la falta de conocimiento en materia de estructuras para abarcar el problema de un avión completo. Por otro lado, la segunda opción quedó descartada por la enorme carga computacional que supone realizar un análisis CFD de un modelo tan complejo (especialmente en términos de tiempo), así como la escasez de datos de ensayos en túnel de viento del Spitfire para comparar los resultados obtenidos.

Una vez decidido el tema a tratar, comenzamos la búsqueda de información vía internet. En un principio los resultados de esta búsqueda no fueron los esperados, ya que la idea era encontrar información de la fabricación del Spitfire sin demasiada dificultad. Sin embargo, teniendo en cuenta que la época donde gozó de mayor protagonismo no se caracterizaba precisamente por el fácil acceso a la información (especialmente por la confidencialidad ligada a tiempos de guerra) y que la fabricación de este caza se paralizó en la década de los 50, llegamos a la conclusión de que la mejor opción era realizar una profunda investigación bibliográfica que tuviese también en cuenta proyectos de restauración.

Como fruto de esta investigación encontramos una serie de libros<sup>4</sup> que nos acompañarán durante la realización del trabajo y entre los que destacan, por orden de importancia:

- **Blackah, P. y Blachah, L. (2014). *Supermarine Spitfire Restoration Manual*. Sparkford: Haynes Publishing.** Impresionante guía en la que Paul y Louise Blackah revelan lo que se necesita para construir o restaurar un Spitfire y devolverlo a los cielos. Aparte de la información que se provee, se muestran algunos proyectos de restauración actuales con fotografías de las industrias implicadas durante las diferentes fases de construcción. Será el hilo conductor del trabajo que desarrollaremos.
- **Chambers, M. A. (2016). *Building the Supermarine Spitfire*. Brimscombe Port: The History Press.** Más centrado en la historia que rodea el nacimiento y desarrollo de las diferentes versiones del avión. En él se exponen las circunstancias en las que surge el diseño, la creación de prototipos y la construcción, así como las fábricas, probadores y entrenadores que participan en este proceso. Con una gran cantidad de fotografías inéditas, así como información técnica e histórica importante sobre el desarrollo del avión.

A la hora de identificar los diferentes módulos en que se divide la aeronave usaremos el libro que nos sirvió como guía a la hora de realizar el modelado en CATIA del Supermarine Spitfire. Este libro además nos proporcionará detalles, como la posición de los remaches y como se colocan las diferentes chapas que forman

---

<sup>4</sup> Todos estos libros han sido adquiridos ya sea en su versión impresa o en versión digital PDF.

la superficie externa del avión.

- **Monforton, P. H. (2016). *Spitfire Mk. IX & XVI Engineered*. Recuperado de: <https://www.monfortonpress.com/>.** Libro detallado de 432 páginas dedicadas exclusivamente al icónico caza británico, entre las que figuran 133 páginas de planos acotados. Como hemos dicho, haremos coincidir los módulos con los capítulos de este libro:
  - *Fuselage*
  - *Cowlings*
  - *Wing Fillet*
  - *Canopy*
  - *Empenagge*
  - *Wing*
  - *Undercarriage*
  - *Cockpit*

Complementamos la información a través de otros libros de ilustraciones de esta aeronave y páginas webs con proyectos de construcción del caza para exposiciones, coleccionistas e incluso, exhibiciones en clubs de vuelo:

- **Yamada, T, Ohasato, H y Hards, S. T. (2000). *Aero Detail 27 Vicker-Supermarine Spitfire Mk V-XVI. Ampang Jaya: Model Graphix*.** Documentación gráfica impresionante de cada una de las partes del avión.
- **Humphreys, R. (2000). *SAM Modellers - The Supermarine Spitfire*. Bedford: SAM Publications.** Aparte de gran cantidad de imágenes y dibujos, incluye textos explicativos de la aparición, uso o construcción e información de las diferencias existentes entre modelos.
- **Glen, A. *Spitfire in my Workshop web*. Recuperado de: <http://www.spitfireinmyworkshop.net/>.** Dispone de libro y página web dedicado a la reproducción del Spitfire Mk I a escala 1:5, con imágenes de algunas partes del proceso. En este caso usamos la web como fuente de información.
- **Harvey, D. *Aussie Modeller International web*. Recuperado de: <http://www.aussiemodeller.com/>.** Tiene una galería de imágenes del proceso de restauración del modelo Mk V del Spitfire llevado a cabo en Toowoomba, Australia. Incluye algunas capturas del modelado en 3D de piezas.
- **Denney, G. *The Kent Spitfire web*. Recuperado de: <http://kentspitfire.co.uk/>.** Compañía dedicada a la reconstrucción del Spitfire Mk IX para devolverlo a condiciones de vuelo. Se explica el proceso de acompañado de imágenes de gran utilidad.
- **Monk, P. *Biggin Hill Hangar web*. Recuperado de: <https://bigginhillheritagehangar.co.uk/>.** Se trata de un hangar que reproduce el famoso aeródromo de la Segunda Guerra Mundial situado en Biggin Hill. En él destacan varios modelos de Spitfire conservados en condiciones de vuelo y de los que se nos muestran multitud de capturas con buen nivel de detalle.

Una vez recopiladas todas las fuentes de información, ponemos fin al primer paso de nuestro proyecto. Ahora ya disponemos del material necesario para abarcar la descripción y recreación del proceso de fabricación y/o restauración del Spitfire Mk IX.



# 4 SUPERMARINE SPITFIRE

---

**E**n este capítulo expondremos el nacimiento, la historia operacional y el legado de uno de los cazas de guerra más icónicos de la historia de la aviación y en el que se centrará nuestro trabajo: el Supermarine Spitfire.

## 4.1 Introducción

“El diseño y desarrollo del Supermarine Spitfire, uno de los aviones más brillantes de la Segunda Guerra Mundial, es realmente una de las historias más remarcables en la historia de la aviación” (Mark A. Chambers, 2016, página 8). Así comienza el libro del citado autor sobre la construcción del Spitfire y por ello, en este capítulo trataremos de reflejar esta historia con un nivel de detalle acorde a su reconocimiento.

## 4.2 Nacimiento

Pese a su importante papel en la Guerra o su elegante y aerodinámico diseño, hay una palabra que engloba la motivación bajo la que se desarrolló el Spitfire por encima de cualquier otra: velocidad. De hecho sus predecesores en la prestigiosa Supermarine Aviation Works fueron diferentes modelos de hidroavión que conquistaron hasta en cuatro ocasiones la copa Schneider (en ediciones entre 1922 y 1931), haciendo añicos los records de velocidad registrados hasta la fecha.

El Supermarine Spitfire está profundamente ligado a la figura de su diseñador jefe, Reginald Joseph Mitchell, nacido en 1895. Este brillante ingeniero aeronáutico de nacionalidad británica, comenzó a trabajar en Supermarine Aviation Works en 1917, ascendiendo rápidamente en la jerarquía de la empresa, primero como diseñador jefe en 1919, luego como ingeniero jefe en 1920 y finalmente como director técnico en 1927. Fue responsable del diseño de algunos de los mejores hidroaviones de la época, tales como los modelos S5 y S6, que contribuyeron directamente en el diseño y desarrollo de la obra culmen de Mitchell: el Supermarine Spitfire prototype Mk I (K5054) de la RAF<sup>5</sup>.

No sería la primera colaboración de Mitchell con la RAF, que contaba con otros dos diseños del prestigioso ingeniero: el Supermarine Scapa, para labores de guerra antisubmarina, y el Supermarine Walrus, para búsqueda y rescate. Ambos aviones participarían también en la Segunda Guerra Mundial en sus respectivos roles.

El primer modelo presentado por Mitchell para rearmar a la obsoleta RAF fue rechazado por el Ministerio del Aire británico en detrimento del Gloster Gladiator, un avión biplano que en términos de velocidad, maniobrabilidad y tecnología estaba muy por debajo de los requerimientos de la inminente guerra. Por tanto, el Supermarine Spitfire Mk I surge de la perseverancia de Mitchell, un visionario consciente de que la RAF necesitaba un caza de líneas modernas extremadamente rápido, de excelente maniobrabilidad y alto rendimiento aerodinámico. Para cumplir con estas características el avión contaba con un motor Rolls-Royce Merlin refrigerado con aceite y un innovador diseño de ala elíptica que producía menor resistencia inducida en vuelo y permitía el alojamiento del tren de aterrizaje retráctil. Sin embargo, la complejidad de este tipo de ala daba ventaja a los alemanes en términos de tiempo de fabricación, ya que el Messerschmitt Bf 109 se fabricaba en un tercio de tiempo obteniendo un rendimiento similar.

---

<sup>5</sup> RAF: Royal Air Force, es decir, Real Fuerza Aérea Británica.



Figura 4-1. Supermarine S6, en el morro se aprecia la forma del Spitfire



Figura 4-2. R.J. Mitchell

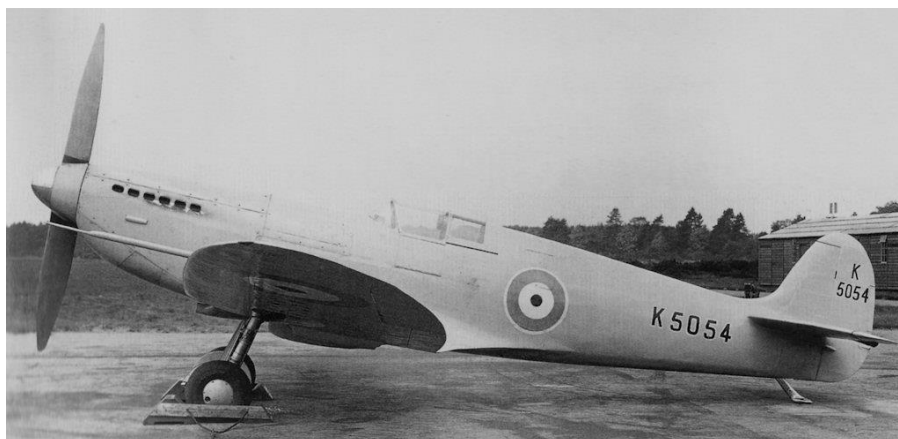


Figura 4-3. Supermarine Spitfire prototype Mk I (K5054)

Tras el desarrollo del primer prototipo, el Capitán Joseph Summers llevó a cabo el primer test de vuelo el 5 de Marzo de 1936 en el Aeródromo de Eastleigh con resultados muy satisfactorios. El Spitfire, además de estar llamado a ser el avión militar más rápido del planeta, reunía aspectos clave de cara a la guerra como son: fácil manejo e instrucción de pilotos y alta compatibilidad de armamento.

Como fruto de las pruebas realizadas, en Junio de 1936, el Ministerio del Aire efectuó un pedido de 310 ejemplares que inicialmente se fabricarían en la planta original de Supermarine Aviation Works en Woolston, Southampton. Sin embargo, pese a reducir la producción de otros modelos fabricados en esta planta, no era

posible cumplir con la demanda, razón por la que se creó una nueva fábrica en Castle Bromwich como complemento a la original y que se convertiría en el mayor productor de Spitfires durante la Segunda Guerra Mundial.

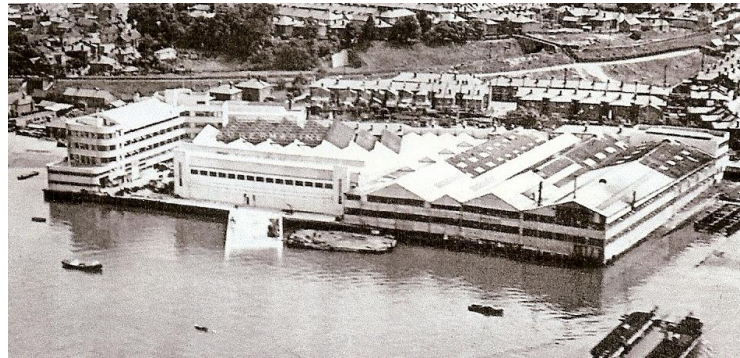


Figura 4-4. Fábrica de Woolston, Southampton



Figura 4-5. Fábrica de Castle Bromwich, Birmingham

La distribución de la fabricación, que implicaba a subcontratas, es la que sigue:

- Los largueros y la sección final del ala contruidos por Supermarine.
- La parte posterior del ala subcontratada a General Aircraft.
- La cola subcontratada a Folland Aircraft.
- El fuselaje construido por Supermarine.
- El ensamblaje final en las instalaciones de Supermarine.

El 2 de Junio de 1937 muere R. J. Mitchell víctima de cáncer. El responsable del diseño, desarrollo y producción de futuros modelos fue Joseph Smith, que completó su trabajo con éxito probando ser un excelente sucesor. Tristemente Mitchell no pudo ser testigo de la dimensión que adquirió su creación, un avión del que se fabricaron más de 23000 unidades de todos sus modelos, siendo el único caza británico en estar en producción continua antes, durante y después de la Segunda Guerra Mundial. El tipo más común fue el Spitfire Mk V, seguido del Mk IX, objeto de nuestro proyecto.

## 4.3 Historia operacional

### 4.3.1 Introducción

La historia operacional del Supermarine Spitfire está estrechamente ligada a la Segunda Guerra Mundial, el mayor conflicto armado de todos los tiempos, donde jugó un papel crucial en la pugna por el espacio aéreo. Famoso principalmente por su participación en la Batalla de Inglaterra, el Spitfire también combatió en Mediterráneo, Pacífico, Sudeste de Asia y resto de Europa.

En las múltiples misiones que llevó a cabo, desempeñó diferentes roles, entre los que destacan:

- **Superioridad aérea:** Consiste en tomar el control del espacio aéreo doblegando a los combatientes enemigos. Las excelentes características del Spitfire a la hora de desarrollar este rol se demostraron en numerosas ocasiones, como la Batalla de Dunkerque o la Batalla de Inglaterra, donde demostró ser superior a los cazas y bombarderos alemanes.
- **Interceptor:** Como su nombre indica, su misión es interceptar y derribar aviones enemigos. En este sentido el Spitfire goza de una enorme reputación como *Maker of Aces*<sup>6</sup>.
- **Bombardero:** Se trata de atacar a blancos enemigos mediante el lanzamiento de bombas, por ejemplo, para proporcionar apoyo aéreo durante el movimiento de tropas terrestres. Crucial en el avance por Francia tras el Día-D o en la destrucción de refinerías japonesas en Sumatra.
- **Foto reconocimiento:** Monitorización de la actividad enemiga, rol clave en la victoria Aliada por varios motivos:
  - Rastreo del rápido avance de Alemania a través de Europa, neutralizando así el *Blitzkrieg* (famosa táctica militar alemana cuya traducción literal es “guerra relámpago”).
  - Rastreo de los buques de guerra alemanes para evitar problemas en rutas comerciales y dar ventaja en contiendas navales.
  - Inspección de daños provocados por los bombarderos británicos sobre las presas alemanas.
  - Localización de fábricas de bombas V1 al norte de Francia.
- **Entrenamiento.**

La evolución de este ejemplar fue constante durante sus años de operación, desarrollándose veinticuatro modelos diferentes como consecuencia de la creciente exigencia de la Guerra y de la colaboración de ingenieros americanos con el fabricante inglés Supermarine Aviation Works.

### 4.3.2 Comienzos en la RAF

En Julio de 1938 comenzaron las entregas de ejemplares de Spitfire a la RAF, siendo el escuadrón 19 de Duxford el primero en contar con ellos. Al comienzo de la Segunda Guerra Mundial, en Septiembre de 1939, había 308 ejemplares de Spitfire repartidos entre diez escuadrones de la RAF.

Aunque la historia ensalce la figura del Spitfire, lo cierto es que sus comienzos en la RAF y en las operaciones de la Segunda Guerra Mundial fueron algo desafortunados. Esto se debe a que el 6 de Septiembre de 1939, días después de iniciar la Guerra, tuvo lugar un incidente de fuego amigo conocido como la batalla de Barking Creek. Todo comenzó con la detección de un avión no identificado que se aproximaba a gran altura y que provocó el despliegue de los Spitfire de los escuadrones 54, 65 y 74 en el aeródromo de Hornchurch y de los Hawker Hurricane de los escuadrones 56 y 151 en el campo de aviación North Weald. Fruto de las deficientes comunicaciones entre centros de mando y pilotos, tuvo lugar el derribo de dos Hawker Hurricane del escuadrón 56 y la muerte del primer piloto británico durante el conflicto armado, Montague Leslie Hulton-Harrop.

Los responsables de esta tragedia, Vincent Byrne y John Freeborn, fueron exonerados por el tribunal que lo consideró un desafortunado accidente. El caso de John Freeborn llama la atención, puesto que se convertiría en uno los mejores pilotos de Spitfire derribando hasta once aviones alemanes y dejando la marca de más horas de vuelo durante la Batalla de Inglaterra.

---

<sup>6</sup> Air Ace: As de la aviación. Piloto militar que ha derribado cinco o más aviones enemigos.

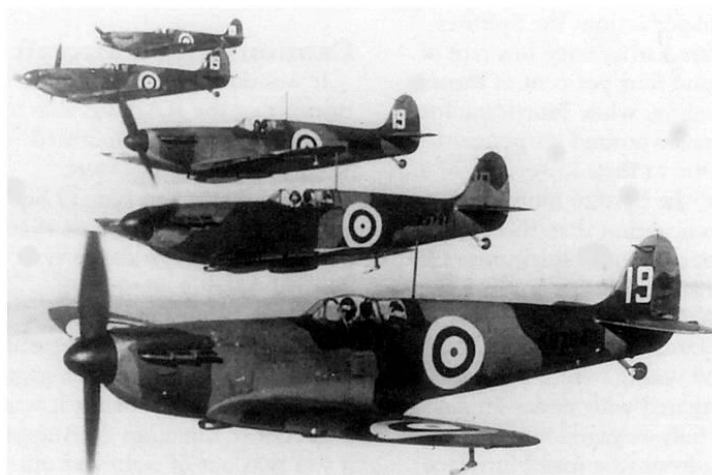


Figura 4-6. Los Spitfire del escuadrón 19 de la RAF

#### 4.3.3 Batalla de Inglaterra (1940)

Durante la Batalla de Inglaterra (del 10 de Julio al 31 de Octubre de 1940) se forjó la leyenda del Supermarine Spitfire, el caza que dominaría los cielos durante la Segunda Guerra Mundial.

Previamente al desarrollo de esta batalla cayó en manos de la RAF un ejemplar del Messerschmitt Bf 109. Tras su estudio y comparativa en combate aéreo simulado, se concluyó que el Spitfire no presentaba debilidades frente al caza alemán, más allá de las que se pudiesen dar en un combate real a raíz de la habilidad y concentración de los pilotos. Por ello se concluyó que el Spitfire sería usado como interceptor frente al Messerschmitt y el Hawker Hurricane para destrucción de bombarderos.

En parte por esta designación de roles durante la contienda, el Hawker Hurricane fue responsable de siete de cada diez de los derribos realizados. Todo ello pese a las mejores características del Spitfire, que no obstante, presentaba un importante hándicap en cuanto a armamento. Contaba con ocho ametralladoras de calibre 0.303 pulgadas, que pese a proporcionar gran potencia de fuego, en muchas ocasiones no era suficiente para derribar los aviones alemanes, que volvían a la batalla con agujeros en su estructura que no comprometían su actuación.

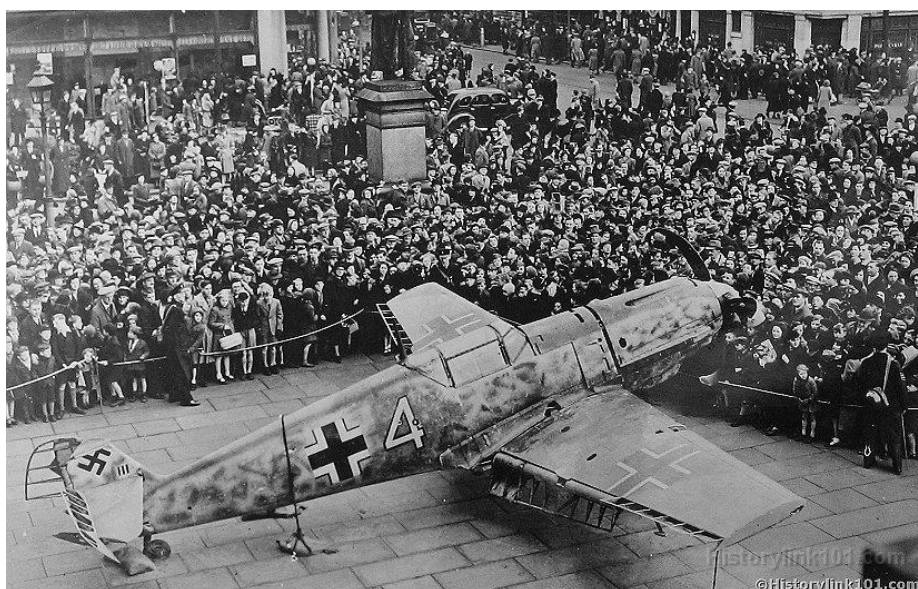


Figura 4-7. Ejemplar de Messerschmitt Bf 109 severamente dañado expuesto en la plaza principal de Bolton durante la Batalla de Inglaterra

Como se preveía, los modelos Mk I y II del Spitfire mostraron ser superiores a los cazas alemanes en maniobrabilidad, velocidad angular y actuaciones a grandes alturas, lo que le permitió ganar multitud de combates aéreos. Como consecuencia de ello el Supermarine Spitfire se convirtió en la columna vertebral del Mando de Caza de la RAF, mejorando sustancialmente sus características con el avance de la Guerra.



Finalmente, Inglaterra se adjudicó la victoria en esta importantísima batalla, disputada enteramente en el aire. El objetivo alemán era destruir la RAF para obtener superioridad aérea en la invasión de Gran Bretaña, además de destruir las fábricas inglesas de aviones, tanques y barcos, forzando al gobierno británico a negociar.



Figura 4-8. Formación Spitfire en la Batalla de Inglaterra

#### 4.3.4 Ofensiva europea (1941-43)

En 1941 la mitad superior del territorio francés, Bélgica y los Países Bajos estaban ocupados por la Alemania nazi, por lo que todas las operaciones del Spitfire partían de las islas británicas. Este hecho, sumado a la baja autonomía de la aeronave, hicieron que estas operaciones se limitaran al noroeste de Francia y el canal de la Mancha.

Los esfuerzos de Supermarine Aviation Works para solventar esta situación dieron lugar a la fabricación del Spitfire Mk V, que mejoraba a los modelos existentes hasta la fecha en términos de autonomía y potencia de fuego. Para ello contaba con mayor capacidad de almacenamiento de combustible, dos cañones de 20mm y cuatro ametralladoras de 0.303" que proporcionaban un patrón de fuego más cerrado y efectivo.



Figura 4-9. Spitfires Mk IX en su habitual formación en V

Sin embargo, a finales de ese mismo año Alemania desarrolló el Focke-Wulf Fw 190, que demostró ser superior en casi todos los aspectos al Spitfire Mk V, lo que aumentó considerablemente las bajas entre las filas de la RAF y dio a Alemania el control del espacio aéreo. Como respuesta, se presentó el Spitfire Mk IX con motor Rolls-Royce Merlin 61, en Julio de 1942 y además se introdujeron modificaciones en el Mk V, tales como alas recortadas o motor optimizado para vuelos a baja altitud. Todo ello supuso una sorpresa para las fuerzas aéreas alemanas que vieron como nuevamente el Spitfire se reinventaba para superar a sus aeronaves.

Hasta 1943 el Spitfire ejerció, dentro de su rango de acción, como escolta de los bombarderos aliados en el teatro

europeo. No ejercería como caza de superioridad aérea hasta que se inició la liberación de Europa occidental por parte de las fuerzas aliadas, cuando enfrentó cara a cara a los cazas de la Luftwaffe<sup>7</sup>.



Figura 4-10. Spitfire como escolta del bombardero Avro Lancaster

#### 4.3.5 Servicio en el Mediterráneo

En Marzo de 1942 llegaron a Malta quince Spitfires para la defensa de la isla, que estaba bajo la constante amenaza de las fuerzas aéreas del Eje. Puesto que su autonomía no les permitía llegar desde las islas británicas, se utilizó el portaaviones HMS Eagle. Esta pequeña flota y las actuaciones heroicas de sus pilotos permitieron mantener la posesión de esta importante isla desde el punto de vista estratégico. Las entregas continuaron a cargo del portaaviones americano USS WASP, cuya capacidad de carga era mayor. En total se entregaron más de doscientos ejemplares que ayudaron a solventar la situación crítica vivida en la isla, repeliendo las ofensivas de Alemania e Italia.



Figura 4-11. Spitfire en HMS Eagle

El Spitfire también participó de forma activa en el Teatro de África del Norte y en las campañas de Sicilia e Italia de mano de RAF, SAAF<sup>8</sup> y USAAF<sup>9</sup>.

#### 4.3.6 Asia y el Pacífico

El Spitfire extendió su influencia hasta Asia y el Pacífico, donde sirvió honorablemente a RAF, RAAF<sup>10</sup> y RIAF<sup>11</sup>. Aunque en un principio su misión estaba centrada en labores de foto reconocimiento, pronto tuvieron que hacer frente a la amenaza japonesa que se extendía sobre el norte de Australia, formándose la 1ª Ala de la RAAF compuesta de unidades Spitfire Mk V.

La misión más importante del Spitfire en este frente fue frustrar las numerosas misiones kamikaze de las fuerzas

<sup>7</sup> Luftwaffe: Fuerza aérea alemana durante la Segunda Guerra Mundial.

<sup>8</sup> SAAF: South African Air Force.

<sup>9</sup> USAAF: United States Army Air Forces.

<sup>10</sup> RAAF: Royal Australian Air Force.

<sup>11</sup> RIAF: Royal Indian Air Force.

aéreas japonesas, cuya principal amenaza era el Mitsubishi A6M5 Zero. Irónicamente, debido a la mayor velocidad angular del caza japonés, los pilotos de RAF, RAAF y RIAF copiaron las tácticas que los alemanes usaban contra los Spitfire. Estas tácticas se basaban en utilizar velocidad máxima, hacer ataques en picado y perseguir aviones que habían alcanzado el límite de autonomía.

#### 4.3.7 Día D y posterior

El 6 de Junio de 1944 se produce el Desembarco de Normandía, el cual supuso el impulso definitivo en la victoria final de los Aliados. Se inicia la liberación de Europa comenzando por Francia, lo que permitió el traslado de los escuadrones de Spitfire a posiciones cercanas a las líneas enemigas, solventando así el problema de la autonomía.

Hasta que las fuerzas aéreas alemanas fueron notablemente mermadas, el Spitfire fue designado con la labor de interceptar y derribar a los efectivos de la Luftwaffe. Una vez establecida la supremacía aérea de las fuerzas aliadas, sus operaciones se basaron en dar apoyo a la infantería y atacar a blancos terrestres en territorio enemigo.

Para contrarrestar las bombas V1 lanzadas por los alemanes sobre territorio británico, se usó el Spitfire Mk14 que contaba con una mayor velocidad punta gracias a su motor Rolls-Royce Griffon. La táctica empleada a la hora de hacer frente a las bombas se basaba en volar en paralelo a estas y desviarlas de su trayectoria utilizando la punta del ala.

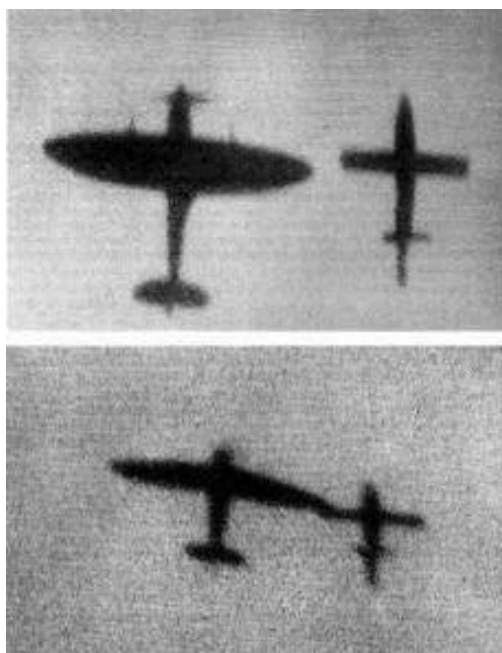


Figura 4-12. Spitfire derribando bomba V1

#### 4.3.8 Servicio en la posguerra

Como mencionamos anteriormente, el Spitfire se mantuvo en producción después de la Guerra, por lo que las fuerzas aérea de muchos países los adquirieron y usaron hasta la década de los 60. Algunos ejemplos son:

- **Corea:** Usados durante la Guerra de Corea para dar apoyo aéreo a las fuerzas terrestres de las Naciones Unidas contra la armada norcoreana y china.
- **Suecia:** la Fuerza Aérea Sueca usó ejemplares destinados a foto reconocimiento para espiar en territorio soviético.
- **Oriente medio:** Usados por ambos bandos durante la Guerra árabe-israelí.
- **Grecia:** Al servicio de RAF, SAAF y Fuerza Aérea Griega durante la Guerra Civil Griega.



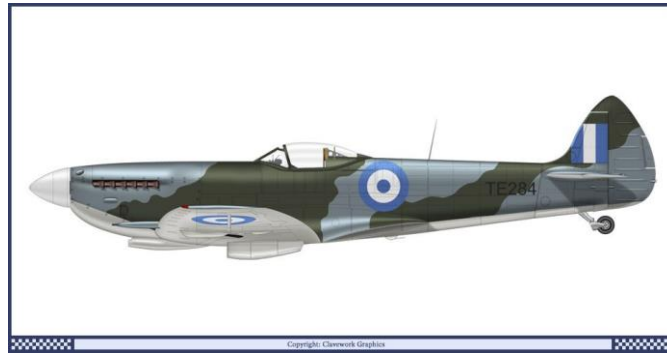


Figura 4-13. Spitfire de la Fuerza Aérea Griega.

#### 4.3.9 Marcas

- Velocidad de 975 km/h o Mach 0,891 en un descenso de 45°.
- Altura de 15712 metros durante un vuelo rutinario en Hong Kong para medir la temperatura.

### 4.4 Spitfire Mk IX

Aquí nos centraremos en mostrar las circunstancias en las que nace el modelo sobre el que desarrollamos nuestro trabajo, así como su historia, características y especificaciones.

Debido a la superioridad aérea del Fw 190As y Bf 109G-6s sobre el Spitfire Mk V, se llevó a cabo el desarrollo de un “Super Spitfire”, designado posteriormente como Spitfire Mk IX. Este modelo se caracterizaba por el uso de un grupo propulsor que contaba con un motor Rolls-Royce Merlin 61 y una hélice de cuatro palas. Existían tres variantes del modelo: LF (low-altitude fighter), M (medium-altitude fighter) y HF (high-altitude fighter).

Su primera operación se produce el 28 de Julio de 1942 como parte del escuadrón 64 de la RAF, sorprendiendo a los alemanes que gozaban de cierta comodidad en el terreno aéreo. Además en el alcance visual de una batalla, los pilotos alemanes eran incapaces de distinguir entre el Mk IX y el Mk V, lo que suponía una ventaja táctica y un as bajo la manga para los pilotos ingleses.

Con el avance de la Guerra el armamento mejoró con la nueva ala E de 1944, lo que supuso un salto en la potencia de fuego del avión con la incorporación de ametralladoras de 0.5 pulgadas en detrimento de las de calibre 0.303. También se probó que podía llevar bombas, más concretamente una en el fuselaje y una en cada ala, con una pérdida de velocidad tolerable.

Este modelo supone un punto de inflexión para los ingenieros americanos, que fueron conscientes de que el Mk IX presentaba mejores características como caza de superioridad aérea que los cazas estadounidenses. Por esta razón y con el objetivo de mejorar las actuaciones de los Aliados en territorio enemigo, estos ingenieros centraron sus esfuerzos en investigar una solución para que el Spitfire aumentase su autonomía y pudiese ser usado en el corazón de Alemania, en misiones de escolta a los bombarderos. Finalmente se consiguieron ejemplares con estas características mezclando las soluciones ofrecidas por británicos y americanos.

### 4.5 Legado y supervivientes

El principal legado del Spitfire lo tenemos en los libros de historia. Se trata del avión británico fabricado en mayor número y el único caza de los aliados en producción durante toda la Guerra. De ahí que con el tiempo se haya convertido en la imagen del bando aliado en los conflictos aéreos.

Se dice que de no ser por su irrupción en la RAF, Alemania habría ganado la Batalla de Inglaterra, lo que hubiese tenido consecuencias fatales para las fuerzas aliadas. Por ello el Spitfire pasó a ser considerado un arma legendaria y un símbolo de la resistencia del pueblo inglés.

Llama especialmente la atención el tremendo respeto mostrado por sus contrincantes, destacando las palabras

de Adolf Galland<sup>12</sup>, quien preguntado por su superior Herman Goering sobre qué necesitaba para ganar la Guerra, respondió: “Un grupo de Spitfires para mi escuadrón”.

Como caza de guerra, el Spitfire estuvo especialmente ligado a conflictos armados, lo que ha provocado que solo unos pocos ejemplares hayan sobrevivido al paso del tiempo (de entre estos ejemplares unos cuarenta se mantienen en condiciones de vuelo). La mayoría de estas unidades podemos verlas en museos, principalmente en aquellos dedicados a la aviación o la guerra, aunque también es frecuente el uso de unidades con capacidad de volar en exhibiciones de vuelo y ceremonias conmemorativas de acontecimientos históricos, como la Batalla de Inglaterra.



Figura 4-14. Ejemplar de Spitfire en el museo de la RAF de Londres

La leyenda del Spitfire ha cautivado a muchos amantes de la aeronáutica, de ahí que desde la década de los 60 hayan sido muchos los coleccionistas, asociaciones y clubes de vuelo interesados en poseer un ejemplar del icónico avión. Nacen de esta manera proyectos de fabricación o restauración de unidades cuyo fin es reproducir fielmente la aeronave de forma que sea totalmente funcional.

---

<sup>12</sup> Adolf Galland fue un as de la aviación alemana y general de la Luftwaffe tras la Batalla de Inglaterra.

## 5 PRODUCCIÓN EN CADENA DEL SPITFIRE Y PROYECTOS DE RESTAURACIÓN

---

En este capítulo comentaremos aspectos clave de la producción del Spitfire durante la Guerra, así como proyectos de restauración pioneros o la forma correcta de proceder a la hora de llevar a cabo las labores de restauración de acuerdo a las pautas marcadas por un restaurador profesional de aeronaves históricas.

### 5.1 Fabricación del Spitfire durante la Guerra

Diseñado y construido por primera vez en tiempos de paz, el Spitfire se convirtió en uno de los más brillantes y reconocidos cazas de guerra de todos los tiempos por su importante papel en la Segunda Guerra Mundial.

Su fabricación siguió dos premisas esenciales durante el conflicto armado: producción ininterrumpida y mejora constante del diseño para hacer frente a la evolución de los aviones enemigos. Esta mejora constante fue posible gracias a un diseño inicial fácilmente adaptable.

Para disponer de una línea de producción continua se contaba con varias fábricas repartidas por toda Inglaterra, donde hombres y mujeres trabajaban duro para satisfacer las necesidades de la RAF. El hecho de disponer de varias fábricas respondía a dos cuestiones de suma importancia: maximizar la producción y asegurar el flujo de unidades de Spitfire si una o varias de las fábricas cesaban su actividad por los ataques de bombarderos alemanes. A continuación se muestra el listado de fábricas:

- **Supermarine Aviation Ltd:** Situada en Southampton, se trata de la fábrica original de la compañía Supermarine Aviation Works. En 1940 sufrió las consecuencias de la ofensiva alemana, lo que probó el valor de haber abierto otros puntos de fabricación a lo largo del país. (Figura 4-4).
- **Castle Bromwich:** En 1938 el Ministerio del Aire adquirió un terreno en la zona adyacente al aeródromo de Castle Bromwich, Birmingham, donde se situaría esta fábrica. Se convirtió en el mayor productor de Spitfires durante la Guerra, con 11780 unidades a sus espaldas. La clave del éxito se encontraba en la maquinaria de última generación instalada y en los turnos de trabajo de 24 horas. (Figura 4-5).
- **Westland Aircraft Ltd:** Se trataba de una compañía aeronáutica ya establecida en Yeovil, que producía aviones y componentes para la RAF desde el comienzo de la Guerra. Tras el ataque a la fábrica de Southampton, Westland se adaptó urgentemente para la producción de Spitfires, ofreciendo una solución de gran ayuda al gobierno.
- **Cunliffe-Owen Aircraft Ltd:** Era también una compañía aeronáutica ya establecida en Southampton fácilmente adaptada para la producción de Seafires<sup>13</sup> durante la Guerra. Southampton tuvo la desafortunada suerte de ser el objetivo principal de los bombarderos alemanes, tanto por las fábricas de Spitfire como por los muelles, donde llegaban los suministros.

Aparte de estas cuatro fábricas y como respuesta a los constantes ataques de los alemanes, se diseñó un astuto plan de producción dispersa, que implicaba a sesenta y cinco pequeñas compañías (entre las que se encontraban garajes e incluso una lavandería), de las cuales se usaron cuarenta y seis como puntos de producción de

---

<sup>13</sup> Seafire: versión naval del Supermarine Spitfire.

componentes y el resto como unidades de apoyo. Se situaban en varios distritos, como Trowbridge, Newsbury, Salisbury, Reading y Southampton.

Por otro lado tenemos la no menos importante producción de motores. Dicha tarea fue encomendada a Rolls-Royce, que desarrolló dos modelos con múltiples versiones: el motor Merlin y el motor Griffon. El constante esfuerzo por mejorar las características del motor dio lugar a un incremento de potencia del 100% y una ganancia del 40% en velocidad punta del primer al último modelo de Spitfire. Ambos motores se producían en diferentes localizaciones, copiando la idea a la hora de fabricar el avión.

- **Derby:** Localizada en Osmaston. Producía ambos modelos de motor, llevando a cabo la mayor parte del proceso de mejora de los motores Merlin.
- **Crewe:** Comenzó la producción de ambos modelos de motor en 1939.
- **Glasgow:** Comenzó la producción en 1940. El lugar fue escogido por la abundante disponibilidad de acero escocés que la hacía autosuficiente.
- **Manchester:** Haciendo uso de una fábrica ya existente en Trafford Park, comenzó la producción en mayo de 1941. Destaca en términos de calidad, porque ninguno de los motores aquí producidos fue rechazado.
- **Detroit<sup>14</sup>:** Packard Motor Car Company colaboró en la producción de motores, fabricando su primer motor Merlin en 1941.

Para el ensamblaje final y los test de vuelos se usaron los aeródromos de Henley, High Post y Chattis Hill. Cada avión debía superar unos test de vuelos antes de entrar en acción y los encargados de desarrollarlos y analizar sus resultados fueron Jeffrey Quill y Alex Henshaw.

Una vez que el avión estaba completamente operativo, se debía trasladar a su escuadrón de destino. En un principio, el traslado de los aviones supuso un grave problema, puesto que no se concebía la idea de alejar de sus deberes a los pilotos entrenados para transportar estos aviones. Por esta razón, la tarea fue encomendada a una unidad civil dedicada al transporte de correo y suministros, la ATA (Air Transport Auxiliary). Todos los miembros recibieron cursos de entrenamiento para mejorar sus habilidades de pilotaje y también pautas para lectura de mapas o volar sin ayudas. Los hombres y mujeres que formaban esta unidad no tenían experiencia en el pilotaje de aviones de combate y no contaban con radio ni armamento, por lo que estaban a merced de un posible ataque enemigo en el trayecto. En total trasladaron 309000 aviones con tan solo 173 pérdidas registradas.



Figura 5-1. Pilotos de la ATA

La experiencia de Mary Ellis, de la ATA, resume que se sentía al pilotar un Spitfire:

“El despegué fue maravilloso, sentí el flujo de potencia que recorría todo el avión. La velocidad y el fácil manejo fueron algo emocionante para mí, era un deleite sentir la respuesta instantánea a los mandos de control. Fue el avión más deseado, el más elegante en vuelo y también tenía el diseño más bello”.

<sup>14</sup> Fruto de la colaboración estadounidense.

## 5.2 Restauración del Spitfire tras la Guerra

Los primeros proyectos de restauración nacen en la década de los 60, una vez paralizada la fabricación de ejemplares. Estos primeros procesos de restauración contaban con importantes ventajas con respecto a los actuales:

- Mayor facilidad a la hora de adquirir ejemplares que además se encontraban en mejores condiciones, no afectados por el abandono y la corrosión provocada por el paso de los años.
- Mayor facilidad para obtener repuestos de piezas, puesto que las fábricas originales seguían abiertas (que no construyendo Spitfires) y podían disponer de stock o atender las peticiones de fabricación de una determinada pieza.
- Disponibilidad de personal cualificado y experimentado en la fabricación del Spitfire, conocedor de habilidades y técnicas específicas.

El interés en esta aeronave fue creciendo con los años motivado por su propia historia y por eventos puntuales como el estreno en 1969 de la película *Battle of Britain*<sup>15</sup>.

### 5.2.1 Compañías pioneras

- **Charles Church Ltd:** Fundada a principio de los 80 por Charles Church y situada en Blackbushe, Hampshire, fue la primera compañía destinada a la restauración del Spitfire. Sirvió de inspiración en futuros proyectos de restauración de patrimonio aeronáutico. Cerró en 1990 con la desafortunada muerte de Charles Church tras estrellarse a los mandos de un Spitfire.
- **Historic Flying Ltd:** Fundada a finales de los 80 por Tim Routsis con el fin de reacondicionar los *gate guards*<sup>16</sup> de la RAF, que fueron sustituidos por réplicas de fibra de vidrio. Inicialmente situada en Audley End, Essex, su sede cambió en 2001 a Duxford, Cambridgeshire donde sigue funcionando hoy día.

### 5.2.2 Proyectos en la actualidad

Aunque con los años se hace más difícil encontrar unidades en buenas condiciones, los restauradores siguen interesados en el reacondicionamiento de Spitfires. Dado que los museos se muestran reacios a deshacerse de sus unidades, a no ser que dispongan de más de una y se les ofrezca un intercambio interesante, se recurre a recuperar aviones que llevan décadas estrellados o bajo el mar. Esta búsqueda, antaño centrada en las islas británicas, se extiende hasta aquellos países donde operó tras la Segunda Guerra Mundial.

Tras la adquisición de una unidad, se realiza una evaluación inicial y se estiman los posibles costes que implicará su puesta a punto. Para ello comenzaremos con una visión global del avión, ¿contamos con un avión completo con todos sus sistemas y componentes, con una parte considerable del avión o en cambio se trata de una colección de cuadernas, pieles y componentes? También debemos determinar el grado de profundidad del proyecto, es decir, si se desea reacondicionar el avión para vuelo o solo a modo de exposición. En función de estos y otros factores podemos determinar los requerimientos de nuestro proyecto y el coste potencial de los materiales y mano de obra. Para ello podemos acudir a compañías especializadas, que nos orientarán correctamente en términos de costes a asumir y problemas que solventar, por ejemplo, no es lo mismo reparar un modelo de Spitfire con el que no se ha trabajado anteriormente que uno en el que se tenga experiencia previa.

Si podemos asumir el coste estimado y suponiendo que el objetivo sea el reacondicionamiento para vuelo, el siguiente paso es registrar la aeronave en la Dirección General de Aviación Civil de un determinado país para obtener una marca de registro. Llegados a este punto, debemos decidir en qué grado estaremos implicados en el proceso de restauración. A continuación, exponemos las variantes existentes:

- **Realizar el proyecto por mí mismo:** Para devolver el avión a condiciones de vuelo se necesita una licencia de la Dirección General de Aviación Civil para trabajar sobre el avión y una licencia de

<sup>15</sup> Hamilton, G. (Director). (1969). *Battle of Britain* [Película]. Reino Unido: Spitfire Productions.

<sup>16</sup> Gate guards: Guardianes de la puerta, es decir, aviones expuestos en la entrada de determinados lugares, como bases militares o museos de aviación.

ingeniero para firmar el proyecto. Debemos contar con un edificio lo suficientemente grande y adecuadamente equipado. Si se necesitan fabricar pieles, costillas y cuadernas los útiles destinados a tal fin deben estar acreditados por la Dirección General de Aviación Civil.

- **Acudir a una compañía especializada.**

A no ser que contemos con un espacio habilitado para la restauración de aeronaves, experiencia previa, herramientas necesarias y útiles acreditados y específicos de nuestro modelo, el hecho de realizar el proyecto por nuestra propia cuenta incurrirá en un coste extra. Por tanto, lo más sensato es encargarle el proyecto a una compañía aeronáutica e implicarnos en el proceso en algún nivel.

Es de gran importancia realizar un extenso reportaje fotográfico de la aeronave antes de iniciar el desmontaje. Éste permite ver como se unen las piezas, el recorrido y sujeción de cables y tuberías, la posición relativa de unos componentes respecto a otros, la organización del panel de instrumentos, etc.

A la hora de restaurar la aeronave partimos de la premisa de que lo ideal es mantener la originalidad del Spitfire tanto como sea posible. Sin embargo, por el estado inicial de la aeronave lo normal es tener que construir de cero la mayor parte de componentes. Para ello contamos con dos alternativas:

- **Construcción a partir de planos originales:** El restaurador debe ser muy cauteloso a la hora de fabricar piezas a partir de planos originales, ya que estos planos pueden no aplicar a su modelo concreto y sería un desperdicio de tiempo y dinero.
- **Reproducción de piezas a partir de la original:** La pieza es retirada, limpiada y enviada a un determinado fabricante, que examinará las medidas relevantes y generará un nuevo plano. Es el procedimiento más común pues los planos existentes no cubren todos los modelos fabricados.

De alguna manera estaremos manteniendo la originalidad del avión, pero introduciendo materiales modernos equivalentes a los usados en el proceso de fabricación en tiempos de guerra. Un ejemplo claro lo tenemos en tornillos, tuercas y arandelas, cuya designación ha cambiado con el paso del tiempo.

Por otro lado, existen determinadas partes y sistemas del avión que deben ser repuestos obligatoriamente por alternativas modernas. Entre ellos encontramos los sistemas de aviónica y radio, que no cumplen con la legislación aeronáutica actual o partes potencialmente peligrosas, como aquellas expuestas a altas temperaturas, que no cumplen con la normativa de salud y seguridad actual.

Una vez retirada la piel del fuselaje podemos acceder a las placas identificativas originales del avión, situadas en la cuaderna 5 o a lo largo del larguero principal. En ellas se muestra un código de la forma CBAF 1234, que quiere decir que se trata del ejemplar 1234 construido en la fábrica de Castle Bromwich. Además, determinadas partes del avión poseen el *Aircraft Type Drawing Number* que hace referencia al modelo de avión y a la parte a la que pertenece una pieza en concreto. Por ejemplo, el número 36127 significa que se trata de un modelo Spitfire 361, o lo que es lo mismo, un modelo Mk IX o Mk XVI, mientras que el número 27 hace referencia al fuselaje. Todas estas relaciones se encuentran tabuladas en manuales para identificar el origen de nuestra aeronave y el modelo concreto con el que trabajamos. Sin embargo, como consecuencia del constante desarrollo de la aeronave durante la Guerra, muchos ejemplares fueron modificados y readaptados conforme se iban desarrollando nuevos modelos, por lo que es frecuente identificar piezas de nuestro avión con más de un modelo (en este caso podemos identificar nuestro ejemplar con el modelo más antiguo encontrado o con el presente en mayor número de componentes).

En base a estos códigos y acudiendo a los registros AM 78 y AM 1180, podemos determinar en qué unidades o escuadrones sirvió nuestra aeronave, las reparaciones efectuadas y los accidentes sufridos.

Por último, es importante hacer referencia al tiempo que exige restaurar completamente un ejemplar de avión con estas características. El restaurador en cuestión debe ser paciente y constante en las labores de restauración si quiere que su proyecto llegue a buen puerto. A modo de ejemplo tenemos el primer proyecto de restauración de Spitfire llevado a cabo por Peter Monk, dueño de una importante compañía situada en Biggin Hill<sup>17</sup>. Este proyecto partía de un ejemplar de Spitfire Mk IX que Peter describió literalmente como una chatarra y cuyas labores de restauración duraron nada más y nada menos que nueve años.

---

<sup>17</sup> En Biggin Hill se situó un importante hangar durante la Segunda Guerra Mundial que ha sido reproducido por la compañía de Peter Monk.

# 6 PROCESO DE FABRICACIÓN Y/O RESTAURACIÓN DEL SPITFIRE Mk IX

En este capítulo describiremos por partes el proceso de fabricación y/o restauración del Spitfire Mk IX, centrándonos en cada uno de los módulos en que dividimos la aeronave según el esquema que se muestra a continuación. Como aclaración, decir que seguiremos las pautas marcadas para un proceso de restauración, aunque explicaremos el proceso de fabricación desde cero de determinados componentes.

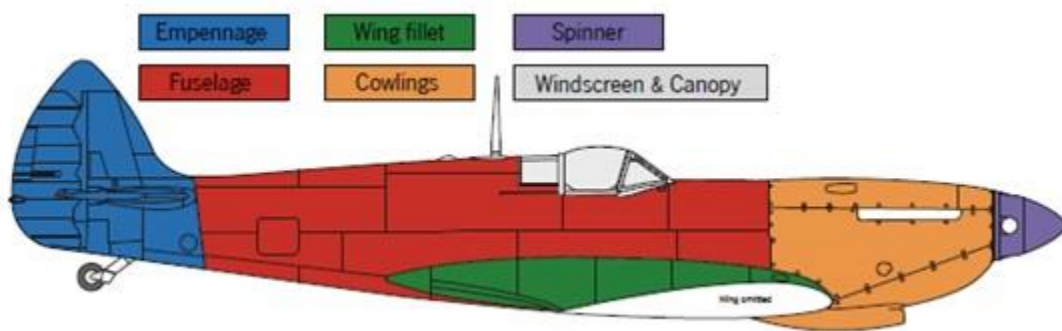


Figura 6-1. Módulos que componen el Spitfire Mk IX

## 6.1 Introducción

A continuación se muestran los argumentos que nos han llevado a seguir una guía de restauración a la que sumaremos la fabricación de componentes significativos desde cero:

- Principalmente la falta de información acerca de la construcción en tiempos de guerra de la aeronave. Se sabe cómo eran las industrias, los modelos que construían y las características de éstos, pero no se poseen detalles del proceso que seguían los operarios (operaciones realizadas, útiles y herramientas utilizados...). Sin embargo, si tenemos acceso a proyectos de restauración a través de webs y libros en los que restauradores profesionales de aeronaves plasman sus conocimientos y su experiencia personal en la restauración de ejemplares de Spitfire.
- La complejidad que supone la creación de una aeronave de estas características desde cero, acrecentada por el hecho de que no se disponen de planos originales que cubran un modelo particular de la aeronave al completo. Esta complejidad se ve sumamente reducida al disponer de un ejemplar sobre el que trabajar, evaluando piezas faltantes y defectuosas que habrá que sustituir o reparar según el caso.
- Los responsables del proyecto. Generalmente los interesados en la posesión de aeronaves históricas son museos, asociaciones, clubes de vuelo o coleccionistas que acuden a compañías especializadas en el reacondicionamiento de este tipo de aeronaves. Estas compañías, pese a su enorme experiencia, no suelen cubrir la fabricación completa de un ejemplar por falta de información, planos, útiles y herramientas específicas, etc. Existen excepciones como la compañía Airframe Assemblies Ltd, situada en Sandown, Reino Unido y que lleva restaurando y fabricando ejemplares de Spitfire desde 1985.

- El desembolso económico. Gracias a la bibliografía de referencia hemos podido ver un proyecto de restauración tasado tras un primer análisis en 750000 libras, por lo que la construcción desde cero alcanzaría una cuantía muy elevada.

De esta manera, en apartados posteriores se describirá el proceso de restauración marcado por la bibliografía de referencia. Se utilizarán componentes representativos para describir y simular la fabricación desde cero.

## 6.2 Materiales Supermarine Spitfire Mk IX

Para preparar los instrumentos que necesitamos para la correcta manipulación de piezas y componentes del avión, antes debemos conocer de qué material están hechos estos elementos.

De acuerdo a la bibliografía de referencia, el Supermarine Spitfire está fabricado casi en su totalidad en aluminio, a excepción de determinadas piezas de acero, tela y madera.

- **Aluminio:** Toda la estructura principal de la aeronave (cuadernas, costillas, largueros, larguerillos, pieles metálicas...), componentes de cabina (pedales, asiento, mandos de vuelo...), remaches, parte de la tornillería<sup>18</sup>...
- **Acero:** Determinados componentes de algunos sistemas, entre ellos el tren de aterrizaje. También parte de la tornillería es de acero.
- **Tela:** Piel del timón de profundidad y del timón de dirección (en modelos con tanque de combustible en cola, las pieles del timón de profundidad son de aluminio). Su finalidad es proporcionar control, reducir la resistencia aerodinámica, aumentar la resistencia estructural y proteger la estructura que recubren.
- **Madera:** Palas de la hélice.

### 6.2.1 Fabricación original

Los modelos originales de Spitfire se fabricaron en una aleación concreta de aluminio, el **duraluminio**. Se trata de una aleación de aluminio con cobre, manganeso, magnesio y silicio, que destaca por su buena mecanización, aunque presenta poca resistencia a la abrasión y la corrosión.

Curiosamente Rolls-Royce también usaba aluminio para la fabricación de sus motores, concretamente **hiduminium**, una aleación de aluminio, cobre, hierro, níquel, magnesio, silicio y titanio con alta resistencia a elevadas temperaturas.

Por otro lado, la tela usada para las pieles de los timones era de materiales orgánicos como **algodón** o **nitrate de celulosa**. Su principal inconveniente era la durabilidad y es que al tratarse de materiales orgánicos, acababa pudriéndose al pasar seis o siete años.

### 6.2.2 Alternativas en la actualidad

Teniendo en cuenta los avances industriales experimentados desde la Segunda Guerra Mundial, a día de hoy tenemos a nuestra disposición un amplio abanico de posibilidades con el que abaratar los costes de fabricación y disminuir los tiempos, facilitar la manipulación, mejorar características como la resistencia estructural, a la corrosión o al impacto...

#### 6.2.2.1 Alternativas al duraluminio

Como alternativa al duraluminio se utilizan aleaciones de aluminio forjado con tratamiento térmico.

- **Aleaciones 2xxx:**
  - **Aleantes principales:** Cobre, aunque también contienen magnesio.
  - **Aplicación:** Fabricación de fuselaje y parte inferior del ala.

<sup>18</sup> Tornillería: Tornillos, tuercas, arandelas...



- **Aleaciones 6xxx:**
  - **Aleantes principales:** Magnesio y silicio.
  - **Aplicación:** Fabricación de perfiles y estructuras en general, por ejemplo, largueros y larguerillos.
- **Aleaciones 7xxx:**
  - **Aleantes principales:** Zinc, magnesio y cobre.
  - **Aplicación:** Fabricación de parte superior del ala.

#### 6.2.2.2 Alternativas a algodón y nitrato de celulosa

El desarrollo de materiales sintéticos modernos nos permite reemplazar las telas de material orgánico por **tereflato de polietileno**, de nombre comercial **Dacron** o **Ceconite**. Este material en lugar de coserse, se pega a la estructura del avión y se ajusta mediante la aplicación de calor. Aumenta la durabilidad hasta unos veinte años.

### 6.3 Entorno de trabajo

En este punto describimos cual es nuestro entorno de trabajo, es decir, aquí definimos las características de los útiles, piezas, máquinas y herramientas que presumiblemente necesitaríamos para la completa realización de las labores de fabricación/restauración.

#### 6.3.1 Máquina de control numérico

La máquina de control numérico (CNC) definida en CATIA V5 debe satisfacer una serie de características, tales como número de ejes o recorrido máximo en los ejes (X, Y, Z). Para ello debemos analizar las diferentes piezas e introducir en el software una máquina que nos permita su completa fabricación.

De entre los múltiples centros de mecanizado CNC existentes en el mercado, hemos tomado como referencia el modelo PFG-S 4020 Servo de la marca BZT. El fabricante nos proporciona una serie de datos técnicos entre los que destacan:

- **Interpolación:** lineal (3 ejes) y circular (2.5 ejes).
- **Área de sujeción X/Y:** 2000 x 4500mm.
- **Recorrido de los movimientos X/Y/Z:** 2000 x 4000 x 400mm.
- **Altura inicial del husillo:** 500mm.
- **Velocidad de posicionamiento:** 30000mm/min.
- **Dimensiones máximas de la pieza X/Y/Z:** 2000 x 4000 x 400mm. Rango de trabajo igual a finales de carrera en todos los ejes.
- **Dimensiones exteriores X/Y/Z:** 3000 x 4900 x 2400mm.
- **Peso:** aproximadamente 5500kg.
- **Fuente de alimentación:** 380/415V - 50Hz.

Podemos obtener más especificaciones de este modelo concreto en el siguiente enlace:

<http://www.bzt-cnc.de/de/shop/cnc-fraesmaschinen/26-baureihe-pfg-s/317-pfg-s-4020-servo>

Otros datos de importancia no especificados en la información pública disponible en la web de BZT, han sido aproximados basándonos en CNC similares:

- **Velocidad máxima de mecanizado:** 100000mm/min.
- **Avance rápido:** 60000mm/min.



- **Gama de velocidades del husillo de trabajo:** 50-24000rpm.
- **Potencia del motor principal del husillo:** 15-18kW.
- **Tiempo de cambio de herramienta:** aproximadamente 8 segundos.




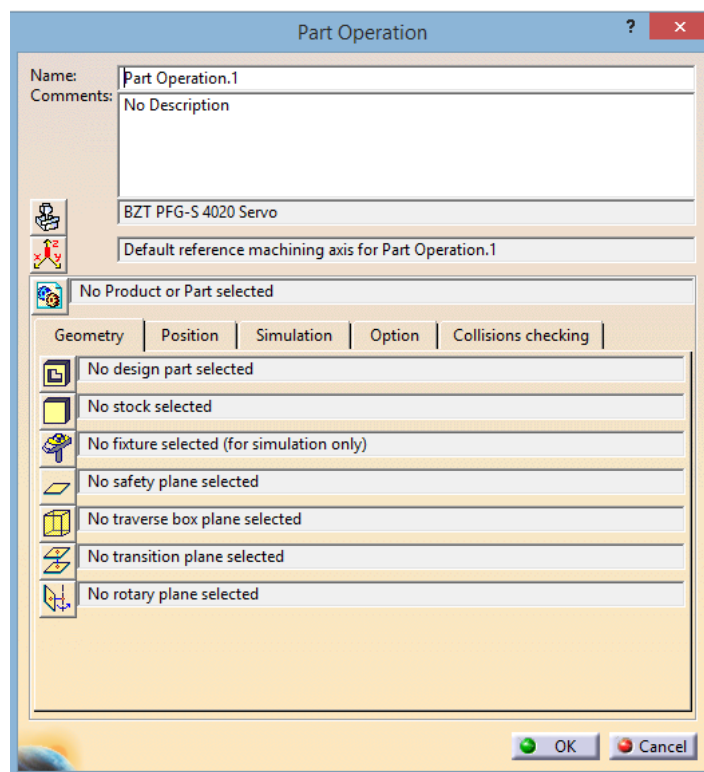
Beispielfoto


Figura 6-2. CNC de referencia: Modelo PFG-S 4020 Servo de BZT

A continuación mostramos los pasos a seguir para la correcta configuración de la máquina CNC de 3 ejes seleccionada (se tomarán valores por defecto para los parámetros desconocidos).

1. Hacemos doble clic sobre  Part Operation.1 en el árbol P.P.R.
2. En la pestaña que aparece, pinchamos sobre  para seleccionar el tipo de CNC que vamos a utilizar.

El icono  corresponde al sistema de referencia usado; en principio dejaremos la opción por defecto. El resto de opciones disponibles se explicarán en apartados posteriores.

Figura 6-3. Menú *Part Operation*

3. Seleccionamos el icono correspondiente a la máquina de 3 ejes , editamos el nombre (*BZT PFG-S 4020 Servo*) y damos valores a los parámetros de las pestañas *Spindle* y *Numerical Control* de acuerdo con las especificaciones técnicas de nuestro modelo:

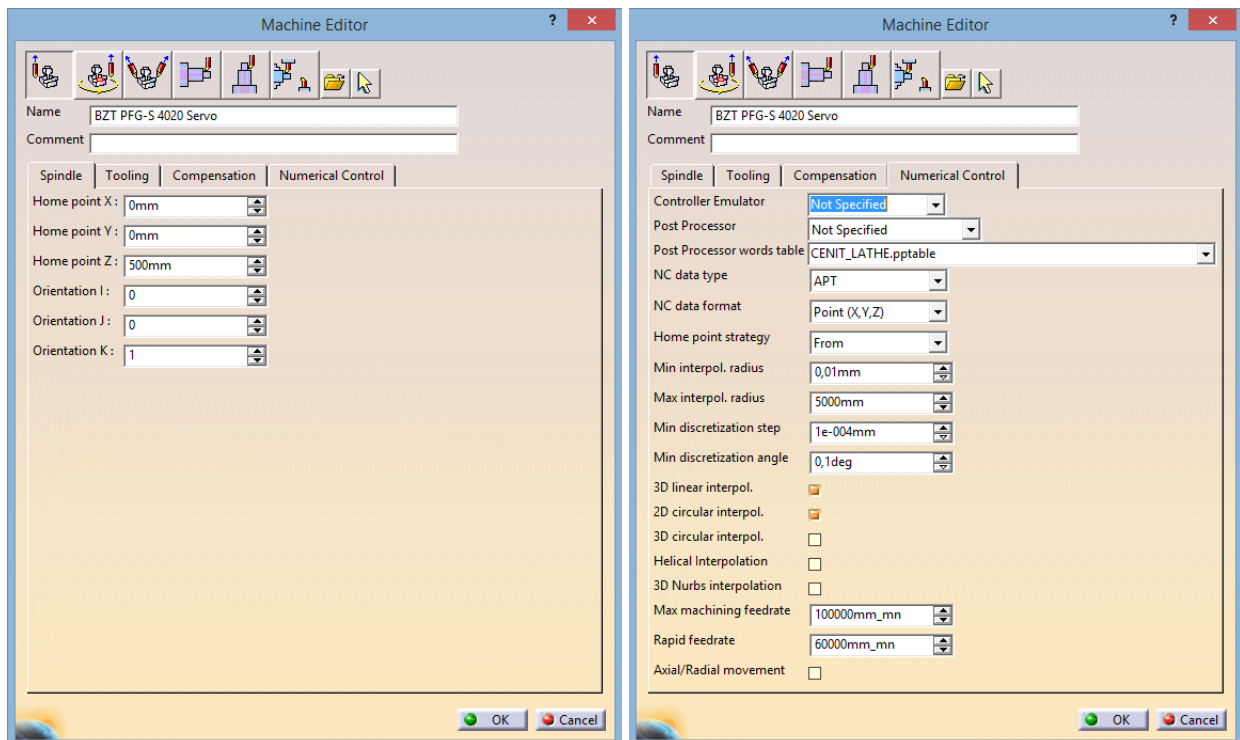





Figura 6-4. Menú *Machine Editor*

De esta manera conseguimos la implementación del CNC en el software utilizado para la simulación de las operaciones de fabricación.

### 6.3.2 Pieza final y preforma

Un punto muy importante dentro del proceso de fabricación de una determinada pieza es conocer las características (dimensiones, forma, material...) tanto de esa pieza como de la preforma de la que partimos. Teniendo en cuenta que las piezas que fabricaremos han sido previamente modeladas en CATIA, asumimos que conocemos todas las características de la pieza final, debiendo determinar las de la preforma. En principio las preformas que tomaremos y consecuentemente modelaremos en CATIA, serán ortoedros<sup>19</sup> que cumplan con las dimensiones máximas de la pieza a fabricar en cada una de las direcciones del espacio.

En el menú **Part Operation** (Figura 6-3) hacemos clic sobre  para cargar el modelo CATIA sobre el que trabajaremos. Una vez hecho esto, seleccionamos para cada conjunto o parte:

-  **Design part for simulation:** Resultado de la mecanización. *PartBody* del archivo *CATPart* seleccionado o de un determinado *CATPart* dentro del conjunto *CATProduct* seleccionado.
-  **Stock:** Preforma. Introducimos un nuevo cuerpo (*Insert/Body*) en un determinado archivo *CATPart*, donde modelamos la preforma correspondiente. Seleccionamos dicho cuerpo (*Body*).

Una vez seleccionadas pieza final y preforma, es posible introducir operaciones de mecanizado y cambios de herramienta para la simulación del proceso.

<sup>19</sup> Ortoedro: Prisma recto de base rectangular.

### 6.3.3 Máquinas

En este apartado enumeramos las máquinas que utilizaremos aparte del CNC. Éstas serán usadas principalmente en labores de taladrado y remachado para el ensamblaje de piezas fabricadas o restauradas.

Las máquinas se modelan en CATIA para la representación de las operaciones realizadas. El modelado no está sujeto a planos ni especificaciones técnicas concretas, simplemente se trata de reproducir la forma y tamaño de estas máquinas para que las imágenes extraídas resulten intuitivas y de interés.

#### 6.3.3.1 Taladro neumático tipo pistola

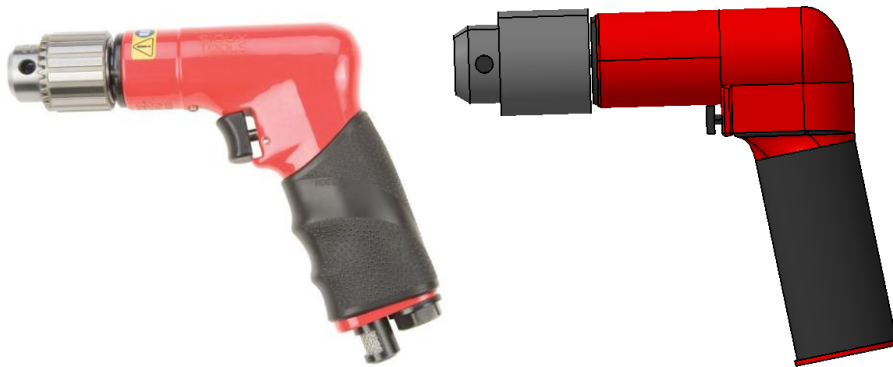


Figura 6-5. Taladro tipo pistola real y modelado en CATIA

#### 6.3.3.2 Taladro neumático angular

Este taladro se utiliza cuando no podemos acceder a la zona con un taladro tipo pistola. Los hay de diferentes tipos, normalmente con cabezal angular de 30°, 45° y 90°.



Figura 6-6. Taladros angulares de 30°, 45° y 90°

### 6.3.3.3 Pistola neumática para pinzas o clecos

Sirve para “pinzar” uniones previamente al remachado, mediante pinzas o clecos de máquina. También hay clecos manuales que se colocan mediante un alicate especial.



Figura 6-7. Pistola para clecos y clecos de máquina



Figura 6-8. Alicata para clecos

### 6.3.3.4 Remachadora neumática tipo pistola

Equipadas con una serie de útiles de remachado (buterolas) que se adaptan en el manguito de la pistola para deformar el remache de forma correcta. Se utilizan junto a una sufridera o entibe.



Figura 6-9. Remachadora tipo pistola y diferentes tipos de buterolas

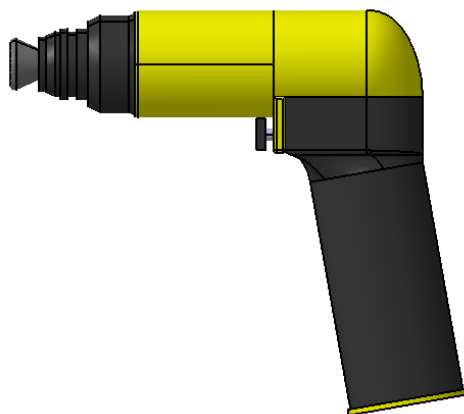


Figura 6-10. Remachadora tipo pistola modelada en CATIA

#### 6.3.3.5 Remachadora hidroneumática *Cherry*

Esta remachadora se utiliza para remaches ciegos específicos, los denominamos remaches *CherryMAX*. Existen diferentes modelos y boquillas para cada tipo y diámetro de remache, respectivamente.

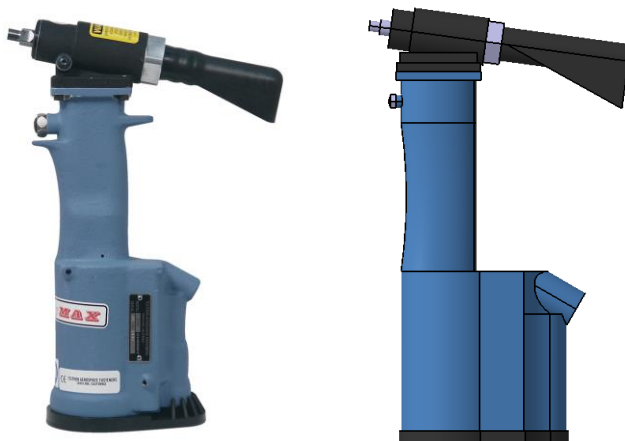


Figura 6-11. Remachadora *Cherry* real y modelada en CATIA

#### 6.3.3.6 Remachadora hidroneumática *Huck*

Para remaches estructurales y remaches de collar *Huck*. Igual que con la remachadora *Cherry* existen diferentes modelos y tipos de boquillas.



Figura 6-12. Remachadora *Huck*

### 6.3.3.7 Remachadora neumática *Squeeze*

Adaptable para diferentes tipos de estampillas según el diámetro y la cabeza del correspondiente remache. Para remaches estándar y zonas accesibles ofrece mejores resultados que la remachadora tipo pistola. Su principal inconveniente es la accesibilidad.



Figura 6-13. Remachadoras *Squeezes* tipo A y C

### 6.3.3.8 Remachadoras manuales



Figura 6-14. Remachadora manual para remaches ciegos



Figura 6-15. Remachadora manual “C”



### 6.3.3.9 Remachadora de banco neumática

Para remaches que unen piezas de un grosor grande o que necesitan de mayor potencia neumática.



Figura 6-16. Remachadora de banco neumática

### 6.3.4 Herramientas de corte

A continuación se describen las herramientas de corte utilizadas para la consecución del proyecto.

#### 6.3.4.1 Brocas

Herramienta metálica, de corte continuo y varios filos utilizada para crear orificios circulares. Su factor limitante suele ser la velocidad de giro (revoluciones por minuto); para brocas anchas la potencia necesaria.



Figura 6-17. Brocas de diferentes filos, diámetros y longitudes

#### 6.3.4.2 Escariadores

Herramienta metálica, de corte continuo y varios filos utilizada para dar buen acabado superficial a agujeros o agrandarlos. Mismos factores limitantes que las brocas.



Figura 6-18. Escariador



### 6.3.4.3 Fresas

Herramienta metálica, de corte intermitente y varios filos utilizada para mecanizar por arranque de viruta. El factor limitante de esta herramienta depende de la operación de mecanizado, siendo para planeado la velocidad de corte y para contorneado o vaciado la velocidad de giro.

De los múltiples tipos de fresa existentes, haremos uso fundamentalmente de:

- **Cabezal portacuchillas:** Filos de corte (plaquitas intercambiables) en la parte frontal. Aplicación: fresado frontal, donde el eje de la fresa es perpendicular a la superficie a mecanizar.



Figura 6-19. Operación de planeado con cabezal portacuchillas

- **Fresas periféricas:** Filos de corte en el contorno. Aplicación: fresado periférico, donde el eje de la fresa es paralelo a la superficie a mecanizar.



Figura 6-20. Fresa periférica

- **Fresas periférico-frontales:** Filos de corte en el contorno y una de sus caras frontales. Aplicación: fresado combinado.



Figura 6-21. Fresas periférico-frontales

- **Fresas cónicas:** Como su nombre indica los filos de corte se disponen en una geometría cónica. Aplicación: fresado de superficies curvas.



Figura 6-22. Fresa cónica

#### 6.3.4.4 Elección de la herramienta

Para elegir la herramienta de corte adecuada debemos tener en cuenta condiciones específicas de la operación a realizar, por ejemplo, si se trata de una operación de taladrado, el diámetro y profundidad del agujero. Basándonos en el tipo de operación y en sus especificaciones, podemos determinar el tipo de herramienta y sus parámetros geométricos (longitud, diámetro...).

Además, existe una relación vinculante entre la herramienta de corte y el material a mecanizar. Teniendo en cuenta los materiales en los que se fabrica nuestra aeronave (apartado **6.2 Materiales Supermarine Spitfire Mk IX**), concluimos que las herramientas de corte usadas serán de dos materiales:

- **Acero rápido (HSS):** Aceros especiales de alto rendimiento idóneos para el mecanizado de aleaciones de aluminio con bajo contenido en silicio. Presentan elevada dureza y resistencia al desgaste.
- **Metales Duros:** Poseen un recubrimiento de carburo de tungsteno y cobalto que alarga el tiempo de vida de la herramienta. Utilizados para mecanizar acero y aluminio con alto contenido en silicio y para mecanizar a velocidades de corte elevadas. La mayoría de las herramientas de corte utilizadas en nuestro proyecto serán de este material.

Una vez definida la herramienta de corte que vamos a usar, es decir, el tipo de herramienta, material, forma, longitud y diámetro, seleccionamos una herramienta de catálogo que cumpla con estas condiciones. Para ello contamos con catálogos de diferentes fabricantes:

- **Mitsubishi Materials Corporation.** *Catálogo virtual.* Recuperado de: <http://www.mitsubishicarbide.net/mhg/eses/>.
- **Ferretería UNCETA S.A.** *Catálogo virtual.* Recuperado de: <https://ecommerce.unceta.es/catalogo-unceta/index.html>.

A continuación explicamos cómo calcular los valores de las velocidades de corte, avance y rotación.

- **Velocidad de corte ( $V_c$ ):** Dada por el fabricante en su catálogo (normalmente en m/min).
- **Velocidad de rotación ( $n$ ):** La obtenemos a partir de la velocidad de corte haciendo uso de la siguiente ecuación:

$$n[\text{min}^{-1}] = \frac{V_c \left[ \frac{\text{m}}{\text{min}} \right] \cdot 1000}{\pi \cdot D[\text{mm}]} \quad (1)$$

Nota: En caso de que el catálogo nos proporcionase la velocidad de rotación en lugar de la velocidad de corte:

$$V_c \left[ \frac{\text{m}}{\text{min}} \right] = \frac{n[\text{min}^{-1}] \cdot \pi \cdot D[\text{mm}]}{1000} \quad (2)$$

- **Velocidad de avance ( $v_f$ ):** La obtenemos a partir de la velocidad de rotación. Si la herramienta es una fresa usamos la ecuación (3), mientras que si es una broca o escariador hacemos uso de la ecuación (4).

$$v_f[\text{mm/min}] = f_z[\text{mm}] \cdot Z_n \cdot n[\text{min}^{-1}] \quad (3)$$

$$v_f[\text{mm}] = f_n[\text{mm}] \cdot n[\text{min}^{-1}] \quad (4)$$

Nota:  $D$  es el diámetro de la herramienta,  $f_z$  es el avance por diente o filo,  $Z_n$  es el número de dientes o filos y


$f_n$  es el avance por revolución.

En el entorno de CATIA contamos con una gran variedad de herramientas personalizables (podemos modificar parámetros geométricos, número de filos, velocidades de corte y avance...). Tenemos dos alternativas para la selección de herramientas:

- **Tool Change:** Seleccionamos la siguiente herramienta de la que haremos uso de entre las múltiples opciones disponibles.



Figura 6-23. *Tool Change*: Cambios de herramienta disponibles

Al pulsar una de ellas (a modo de ejemplo, una broca ) se despliega el menú *Tooling Creation*, donde creamos la herramienta desde cero especificando sus características:

- **Geometry:** diámetro nominal, longitud total, longitud de corte, diámetro del mango, ángulo de corte...
- **Technology:** número de filos, sentido de rotación, uso (desbaste, acabado o ambas), material, tiempo de vida...
- **Feeds & Speeds:** Velocidad de corte o velocidad de giro, avance por diente o avance, profundidad de corte...

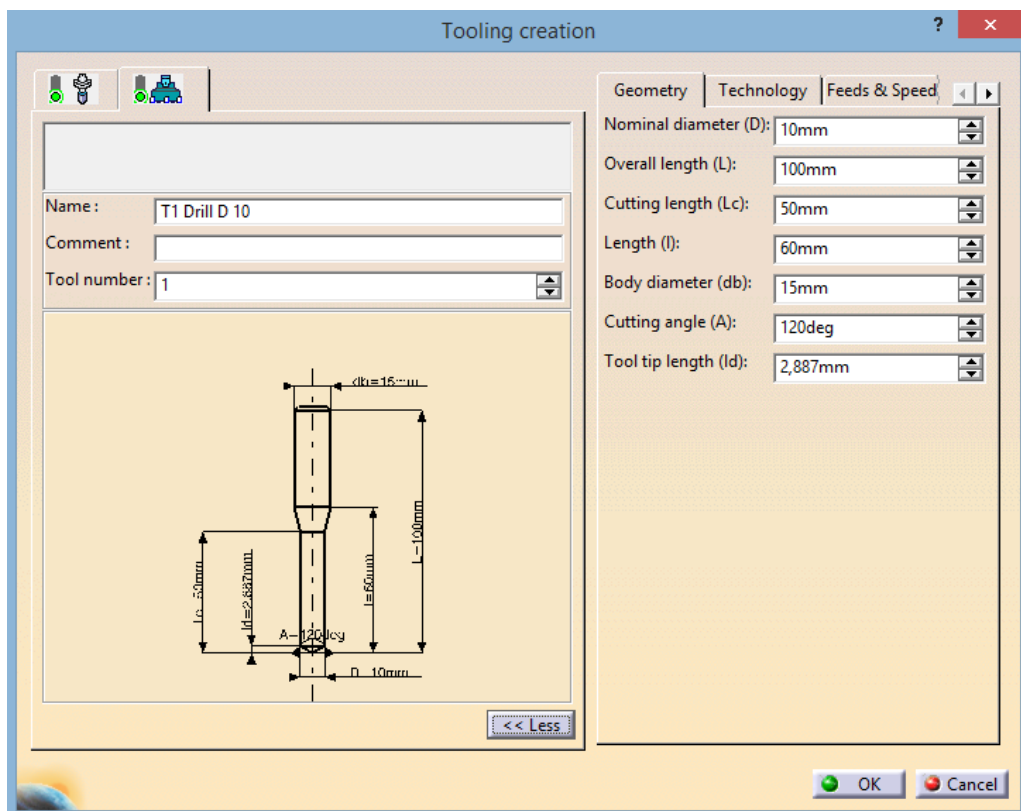





Figura 6-24. Menú *Tooling Creation*

- **Machining Operations:** En este caso seleccionamos la siguiente operación de mecanizado que realizaremos.



Figura 6-25. *Machining Operations*: Operaciones de mecanizado disponibles

Al clicar una de ellas (a modo de ejemplo, taladrado ) , se despliega el menú correspondiente a esta operación. Seleccionando la pestaña  y posteriormente  , accedemos a la elección de la herramienta de entre las adecuadas para la operación de mecanizado que llevaremos a cabo.

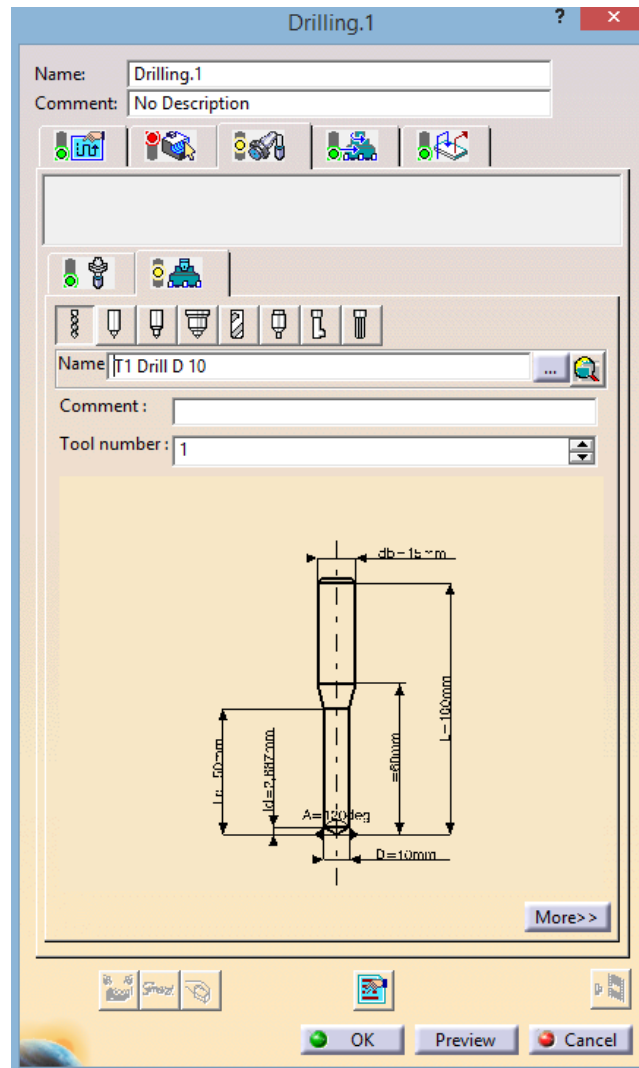




Figura 6-26. Menú *Drilling*: Selección de herramienta

Haciendo clic en  accedemos a las herramientas creadas con anterioridad en la sesión que figuran en la lista de recursos (*ResourcesList*). Por el contrario, si hacemos clic en  podemos desplegar catálogos de herramientas disponibles en CATIA, seleccionando aquella que nos interese y modificándola si es necesario.



Geometry	Technology	Feeds & Speeds	Con
<input checked="" type="radio"/> Finishing cutting speed :		300m_mn	
<input type="radio"/> Finishing spindle speed :		954,93turn_mn	
<input checked="" type="radio"/> Finishing Feedrate per Tooth:		0,15mm_turn	
<input type="radio"/> Finishing Feedrate :		1,5mm_turn	
Axial depth of cut for finish :		1mm	
Radial depth of cut for finish :		100mm	
<input checked="" type="radio"/> Roughing cutting speed :		300m_mn	
<input type="radio"/> Roughing spindle speed :		954,93turn_mn	
<input checked="" type="radio"/> Roughing Feedrate perTooth:		0,25mm_turn	
<input type="radio"/> Roughing Feedrate :		2,5mm_turn	
Axial depth of cut for rough :		4mm	
Radial depth of cut for rough :		100mm	
Max machining feedrate :		100000mm_mn	

Figura 6-29. Cabezal ASX400-100B10R: Condiciones de corte

- **Fresas periférico-frontales:**
  - **Mitsubishi Materials IMX25C3A280R32023:**

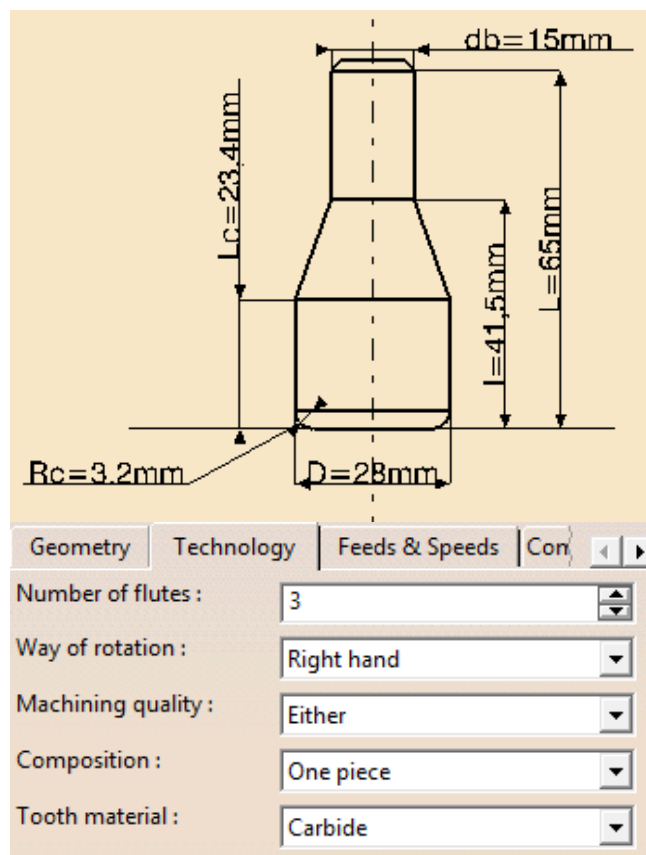


Figura 6-30. Fresa IMX25C3A280R32023: Geometría y tecnología

Geometry	Technology	Feeds & Speeds	Com
<input checked="" type="radio"/> Finishing cutting speed :		527,788m_mn	
<input type="radio"/> Finishing spindle speed :		6000turn_mn	
<input checked="" type="radio"/> Finishing Feedrate per Tooth:		0,211mm_turn	
<input type="radio"/> Finishing Feedrate :		0,633mm_turn	
Axial depth of cut for finish :		20mm	
Radial depth of cut for finish :		7,5mm	
<input checked="" type="radio"/> Roughing cutting speed :		450m_mn	
<input type="radio"/> Roughing spindle speed :		5115,695turn_mn	
<input checked="" type="radio"/> Roughing Feedrate perTooth:		0,248mm_turn	
<input type="radio"/> Roughing Feedrate :		0,744mm_turn	
Axial depth of cut for rough :		20mm	
Radial depth of cut for rough :		7,5mm	
Max machining feedrate :		100000mm_mn	

Figura 6-31. Fresa IMX25C3A280R32023: Condiciones de corte

- **Mitsubishi Materials VQJHVD1200:** Con reducción del diámetro del mango (de 12mm a 10mm).

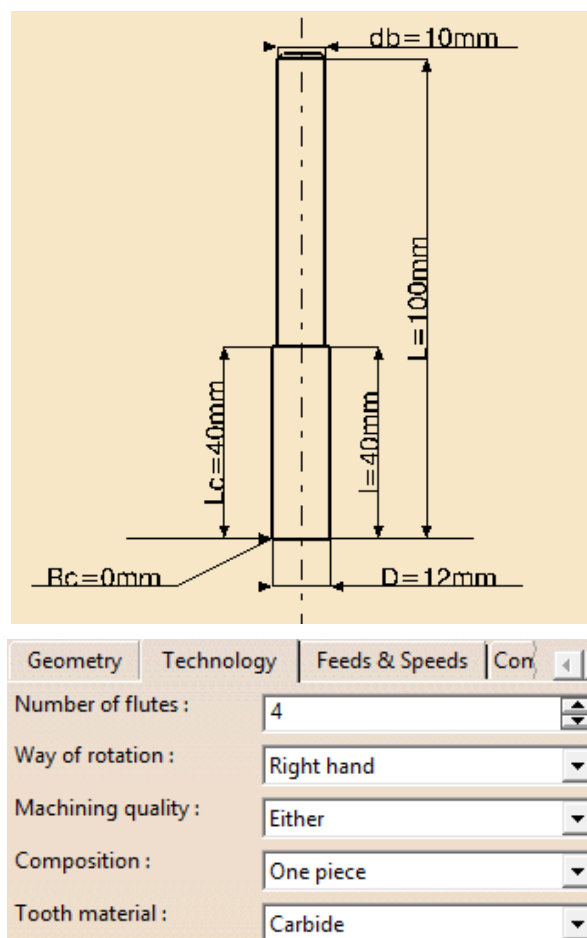
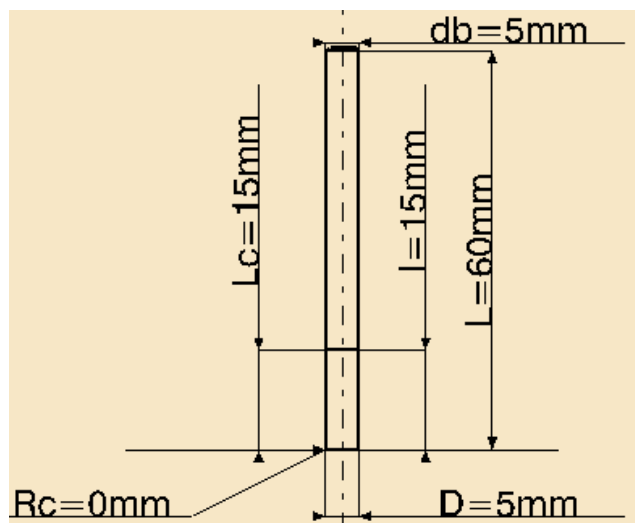


Figura 6-32. Fresa VQJHVD1200: Geometría y tecnología

Geometry	Technology	Feeds & Speeds	Con
<input type="radio"/> Finishing cutting speed :		452,389m_mn	
<input checked="" type="radio"/> Finishing spindle speed :		12000turn_mn	
<input checked="" type="radio"/> Finishing Feedrate per Tooth:		0,1mm_turn	
<input type="radio"/> Finishing Feedrate :		0,4mm_turn	
Axial depth of cut for finish :		40mm	
Radial depth of cut for finish :		12mm	
<input type="radio"/> Roughing cutting speed :		376,991m_mn	
<input checked="" type="radio"/> Roughing spindle speed :		10000turn_mn	
<input checked="" type="radio"/> Roughing Feedrate perTooth:		0,125mm_turn	
<input type="radio"/> Roughing Feedrate :		0,5mm_turn	
Axial depth of cut for rough :		40mm	
Radial depth of cut for rough :		12mm	
Max machining feedrate :		100000mm_mn	

Figura 6-33. Fresa VQJHVD1200: Condiciones de corte

- **Mitsubishi Materials AM2MRD0500A060:**



Geometry	Technology	Feeds & Speeds	Con
Number of flutes :		2	
Way of rotation :		Right hand	
Machining quality :		Either	
Composition :		One piece	
Tooth material :		Carbide	

Figura 6-34. Fresa AM2MRD0500A060: Geometría y tecnología



Geometry	Technology	Feeds & Speeds	Con
<input type="radio"/> Finishing cutting speed :		314,159m_mn	
<input checked="" type="radio"/> Finishing spindle speed :		20000turn_mn	
<input checked="" type="radio"/> Finishing Feedrate per Tooth:		0,075mm_turn	
<input type="radio"/> Finishing Feedrate :		0,15mm_turn	
Axial depth of cut for finish :		5mm	
Radial depth of cut for finish :		5mm	
<input type="radio"/> Roughing cutting speed :		282,743m_mn	
<input checked="" type="radio"/> Roughing spindle speed :		18000turn_mn	
<input checked="" type="radio"/> Roughing Feedrate perTooth:		0,08mm_turn	
<input type="radio"/> Roughing Feedrate :		0,16mm_turn	
Axial depth of cut for rough :		5mm	
Radial depth of cut for rough :		5mm	
Max machining feedrate :		100000mm_mn	

Figura 6-35. Fresa AM2MRD0500A060: Condiciones de corte

- **Mitsubishi Materials AM2MBR0200A060:** Con reducción del diámetro del mango (de 6mm a 4mm).

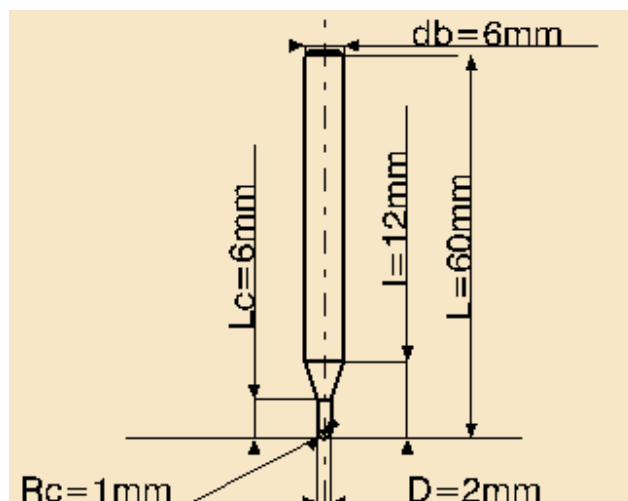
Geometry	Technology	Feeds & Speeds	Con
Number of flutes :		2	
Way of rotation :		Right hand	
Machining quality :		Either	
Composition :		One piece	
Tooth material :		Carbide	

Figura 6-36. Fresa AM2MBR0200A060: Geometría y tecnología

Geometry	Technology	Feeds & Speeds	Com
<input checked="" type="radio"/> Finishing cutting speed :		251,327m_mn	
<input type="radio"/> Finishing spindle speed :		20000turn_mn	
<input checked="" type="radio"/> Finishing Feedrate per Tooth:		0,1mm_turn	
<input type="radio"/> Finishing Feedrate :		0,2mm_turn	
Axial depth of cut for finish :		6mm	
Radial depth of cut for finish :		4mm	
<input checked="" type="radio"/> Roughing cutting speed :		251,327m_mn	
<input type="radio"/> Roughing spindle speed :		20000turn_mn	
<input checked="" type="radio"/> Roughing Feedrate perTooth:		0,07mm_turn	
<input type="radio"/> Roughing Feedrate :		0,14mm_turn	
Axial depth of cut for rough :		6mm	
Radial depth of cut for rough :		4mm	
Max machining feedrate :		100000mm_mn	

Figura 6-37. Fresa AM2MBR0200A060: Condiciones de corte

- **Mitsubishi Materials AM2MBR0100A060:**



Geometry	Technology	Feeds & Speeds	Com
Number of flutes :	2		
Way of rotation :	Right hand		
Machining quality :	Either		
Composition :	One piece		
Tooth material :	Carbide		

Figura 6-38. Fresa AM2MBR0100A060: Geometría y tecnología

Geometry	Technology	Feeds & Speeds	Con
<input checked="" type="radio"/> Finishing cutting speed :		125,664m_mn	
<input type="radio"/> Finishing spindle speed :		20000turn_mn	
<input checked="" type="radio"/> Finishing Feedrate per Tooth:		0,05mm_turn	
<input type="radio"/> Finishing Feedrate :		0,1mm_turn	
Axial depth of cut for finish :		6mm	
Radial depth of cut for finish :		2mm	
<input checked="" type="radio"/> Roughing cutting speed :		125,664m_mn	
<input type="radio"/> Roughing spindle speed :		20000turn_mn	
<input checked="" type="radio"/> Roughing Feedrate perTooth:		0,04mm_turn	
<input type="radio"/> Roughing Feedrate :		0,08mm_turn	
Axial depth of cut for rough :		6mm	
Radial depth of cut for rough :		2mm	
Max machining feedrate :		100000mm_mn	

Figura 6-39. Fresa AM2MBR0100A060: Condiciones de corte

- **Brocas:** Las brocas son todas de metal duro y dos filos.

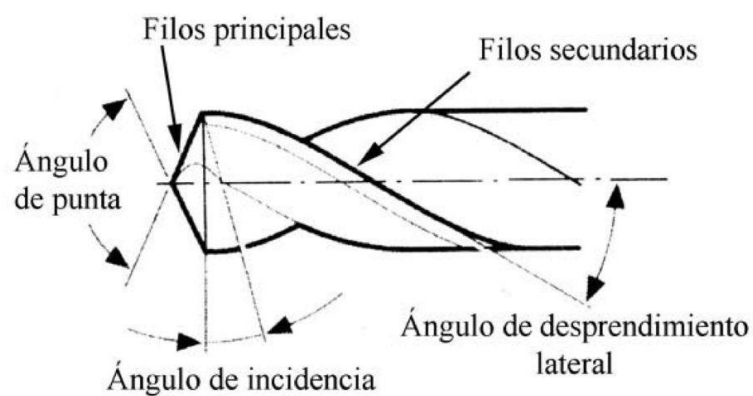


Figura 6-40. Detalles geometría broca

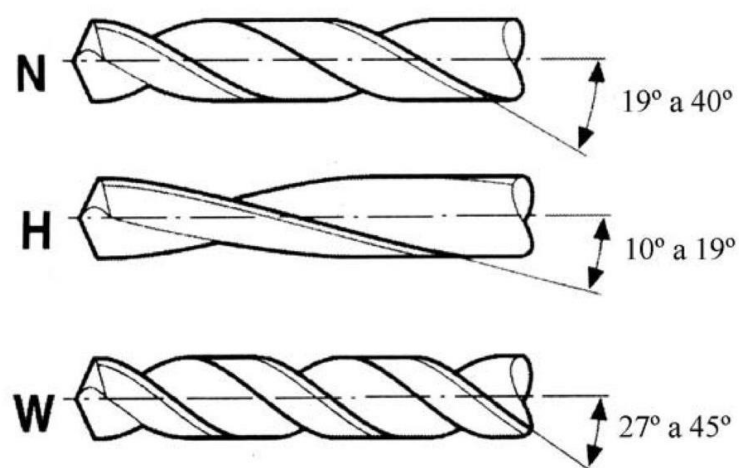


Figura 6-41. Ángulo de desprendimiento lateral

- **UNCETA A2 2297 D2.3.**
- **UNCETA A2 2297 D2.5:**

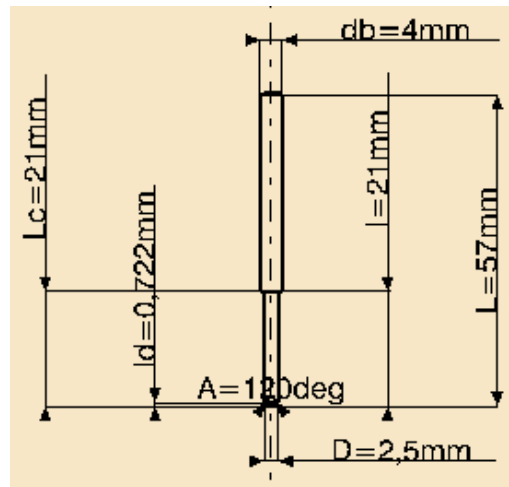


Figura 6-42. Broca A2 2297 D2.5: Geometría

- **UNCETA A2 2297 D3.1:**

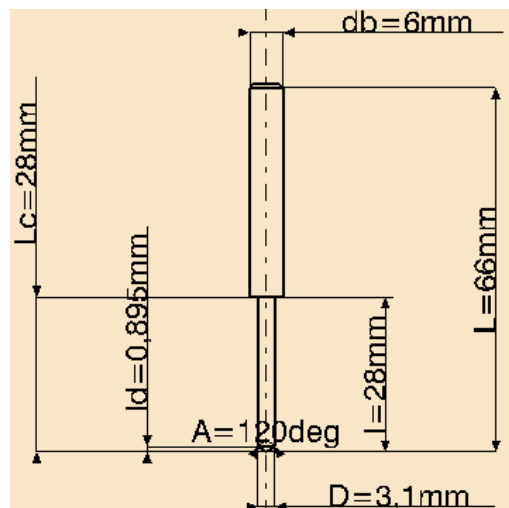


Figura 6-43. Broca A2 2297 D3.1: Geometría

- **UNCETA A2 2297 D3.5:**

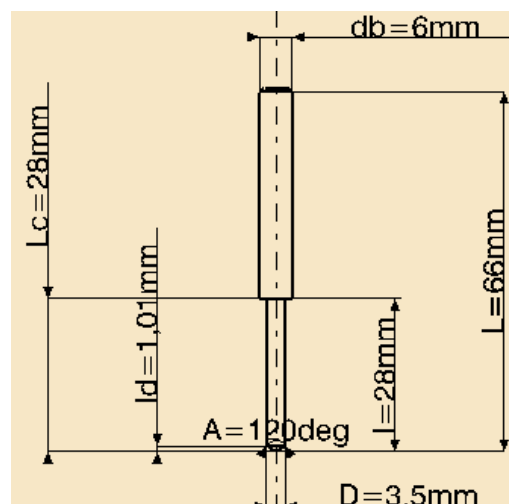


Figura 6-44. Broca A2 2297 D3.5: Geometría

○ **UNCETA A2 2060 D5:**

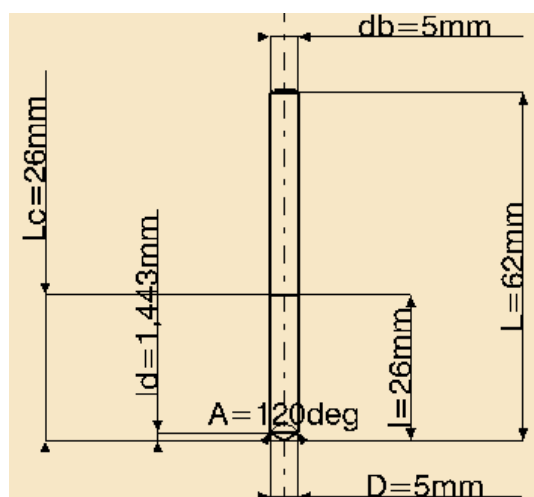


Figura 6-45. Broca A2 2060 D5: Geometría

○ **UNCETA A2 2060 D5.5:**

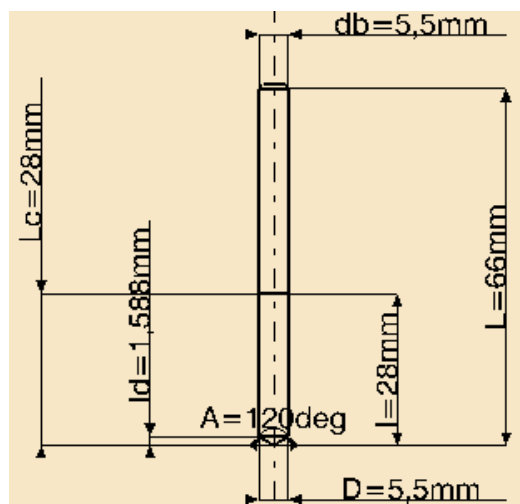


Figura 6-46. Broca A2 2060 D5.5: Geometría

○ **UNCETA A1 1190 D5.5:** Condiciones de corte para taladrado directo (sin seguir secuencia).

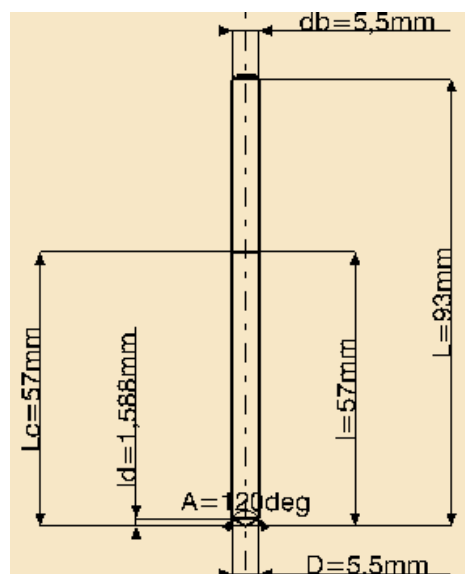


Figura 6-47. Broca A1 1190 D5.5: Geometría

○ **UNCETA A2 2060 D6:**

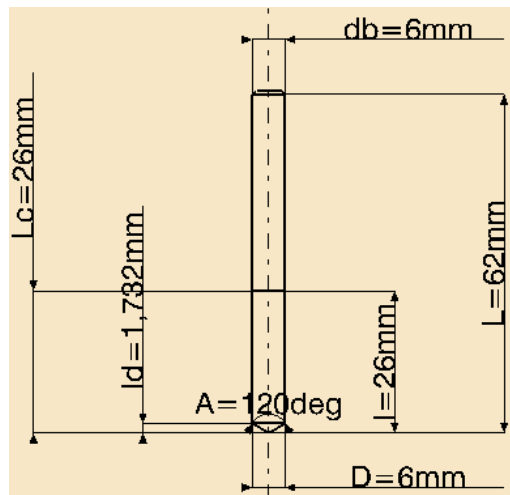


Figura 6-48. Broca A2 2060 D6: Geometría

○ **UNCETA A2 2060 D8:**

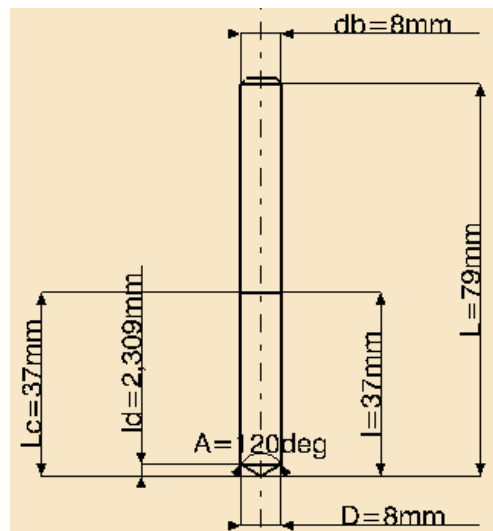


Figura 6-49. Broca A2 2060 D8: Geometría

○ **UNCETA A2 2060 D10:**

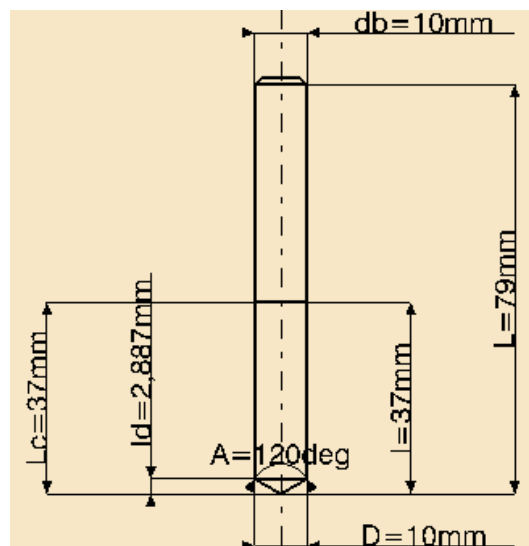


Figura 6-50. Broca A2 2060 D8: Geometría

A continuación se muestra una tabla que resume las condiciones de corte de todas las brocas.

Herramienta	Velocidad de corte ( $V_c$ ) [m/min]	Velocidad de giro ( $n$ ) [rpm]	Avance ( $f_n$ ) [mm/rev]	Profundidad de corte [mm]
A2 2297 D2.3	72.26	10000	0.25	21
A2 2297 D2.5	78.54	10000	0.25	21
A2 2297 D3.1	82.781	8500	0.25	28
A2 2297 D3.5	87.965	8000	0.25	28
A2 2060 D5	164.934	10500	0.09	26
A2 2060 D5.5	181.427	10500	0.09	26
A1 1190 D5.5	86.394	5000	0.05	57
A2 2060 D6	197.92	10500	0.09	26
A2 2060 D8	165.876	6600	0.15	37
A2 2060 D10	188.496	6000	0.15	37

Tabla 6-1. Brocas: Condiciones de corte

- **Escariadores:** Todos de tres filos y acero rápido recubierto (HSS/Co).
  - **UNCETA A6 6260 D2.3.**
  - **UNCETA A6 6260 D3.1:**

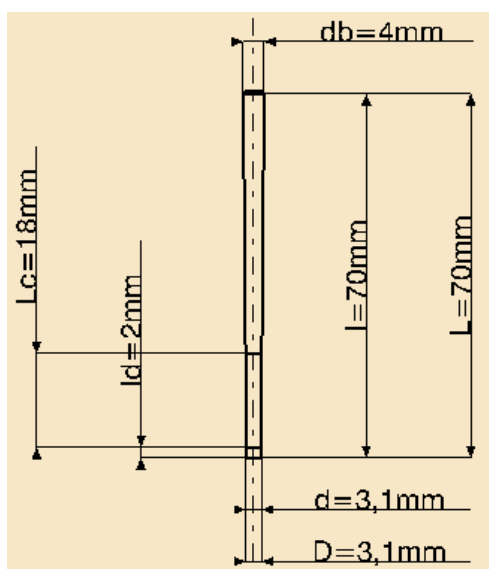


Figura 6-51. Escariador A6 6260 D3.1: Geometría

○ **UNCETA A6 6260 D3.5:**

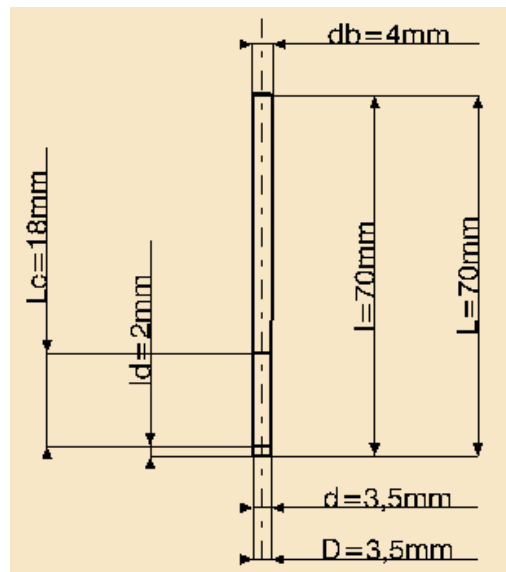


Figura 6-52. Escariador A6 6260 D3.5: Geometría

○ **UNCETA A6 6260 D5:**

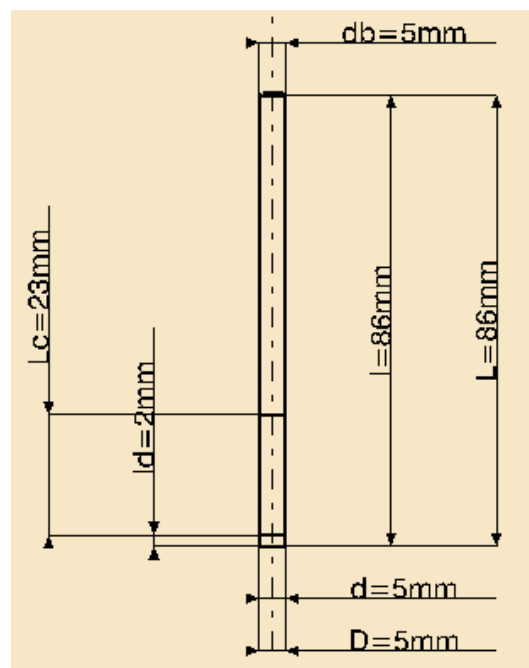


Figura 6-53. Escariador A6 6260 D5: Geometría



- **UNCETA A6 6260 D6:**

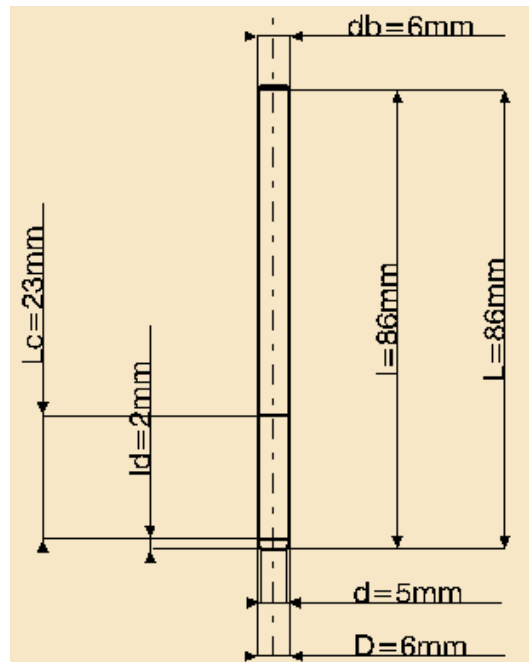


Figura 6-54. Escariador A6 6260 D6: Geometría

- **UNCETA A6 6260 D8:**

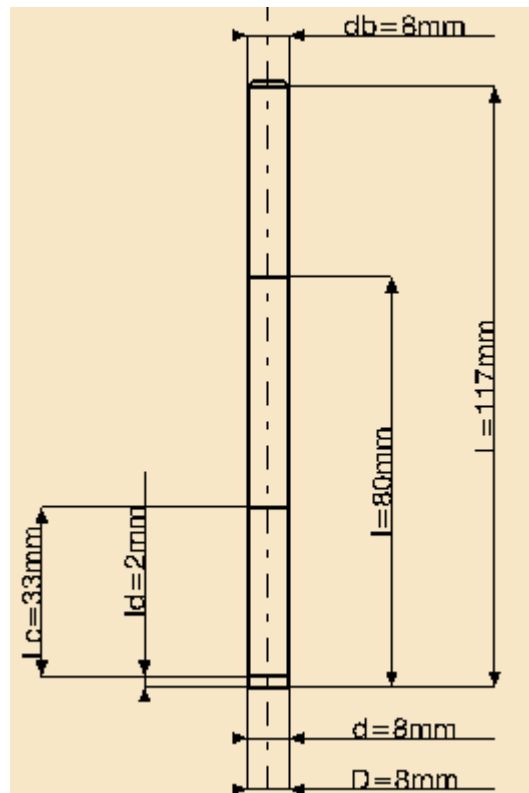


Figura 6-55. Escariador A6 6260 D8: Geometría

A continuación se muestra una tabla que resume las condiciones de corte de todos los escariadores.

Herramienta	Velocidad de corte ( $V_c$ ) [m/min]	Velocidad de giro ( $n$ ) [rpm]	Avance ( $f_n$ ) [mm/rev]	Profundidad de corte [mm]
A6 6260 D2.3	72.26	10000	0.25	28
A6 6260 D3.1	82.781	8500	0.25	28
A6 6260 D3.5	87.965	8000	0.25	18
A6 6260 D5	164.934	10500	0.09	23
A6 6260 D6	197.92	10500	0.09	26
A6 6260 D8	165.876	6600	0.15	33

Tabla 6-2. Escariadores: Condiciones de corte

## 6.4 Operaciones realizadas

Aquí se recopilan todos los tipos de operación implicados en cualquier fase de la fabricación/restauración de la aeronave. Separamos en dos grupos, operaciones simuladas en CATIA V5 y operaciones no simuladas.

### 6.4.1 Operaciones simuladas

En las operaciones de mecanizado simuladas durante la fabricación de cualquier componente mostraremos:

- La definición de la operación en el entorno de CATIA.
- La trayectoria seguida por la herramienta de corte (si es significativa).
  - De amarillo: Trayectoria de aproximación.
  - De azul: Trayectoria de retirada.
  - De rojo: Trayectoria de transición o aclarado.
  - De verde: Trayectoria de desbaste.
  - De azul claro: Trayectoria de acabado.
- El resultado obtenido con análisis del material eliminado (si es significativo). En verde se muestra el material que ya está mecanizado como se especifica en su diseño, en tonos azules material sin eliminar y en tonos marrones material mecanizado de más (se especifica una medida de tolerancia).

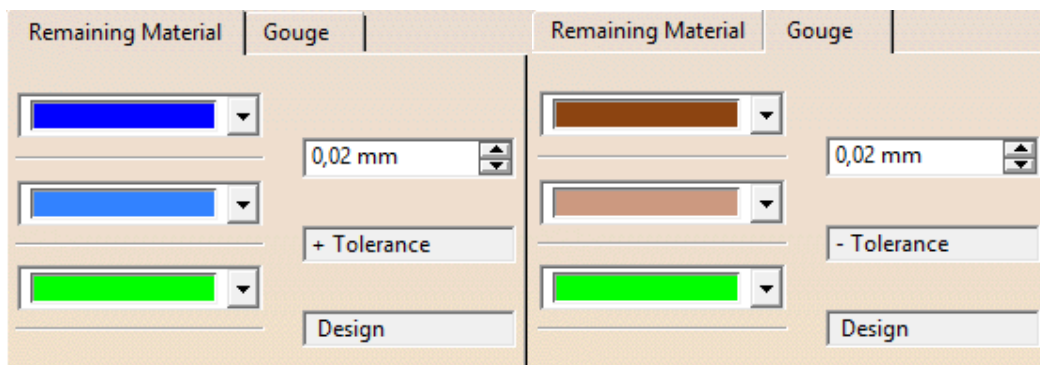



Figura 6-56. Código de colores para el análisis de mecanizado

A continuación describimos estas operaciones, explicando cómo se definen en el entorno de CATIA.

#### 6.4.1.1 Planeado

Operación de mecanizado que se realiza para hacer perfectamente plana una superficie y así corregir las posibles imperfecciones de ésta. Para nuestra máquina CNC, de torno vertical, se trata de una operación de fresado frontal.

- 
**Estrategia de mecanizado:** Lo primero será elegir la trayectoria seguida por la herramienta (de ida y vuelta, helicoidal hacia dentro o pasadas en una dirección determinada) y la dirección de corte. Una vez elegidas, seleccionamos otros parámetros de importancia relacionados con el avance radial (penetración radial de la herramienta, cuanto sobresale...) y axial (penetración axial de la herramienta o número de pasadas). También podemos elegir si damos o no pasadas de acabado.

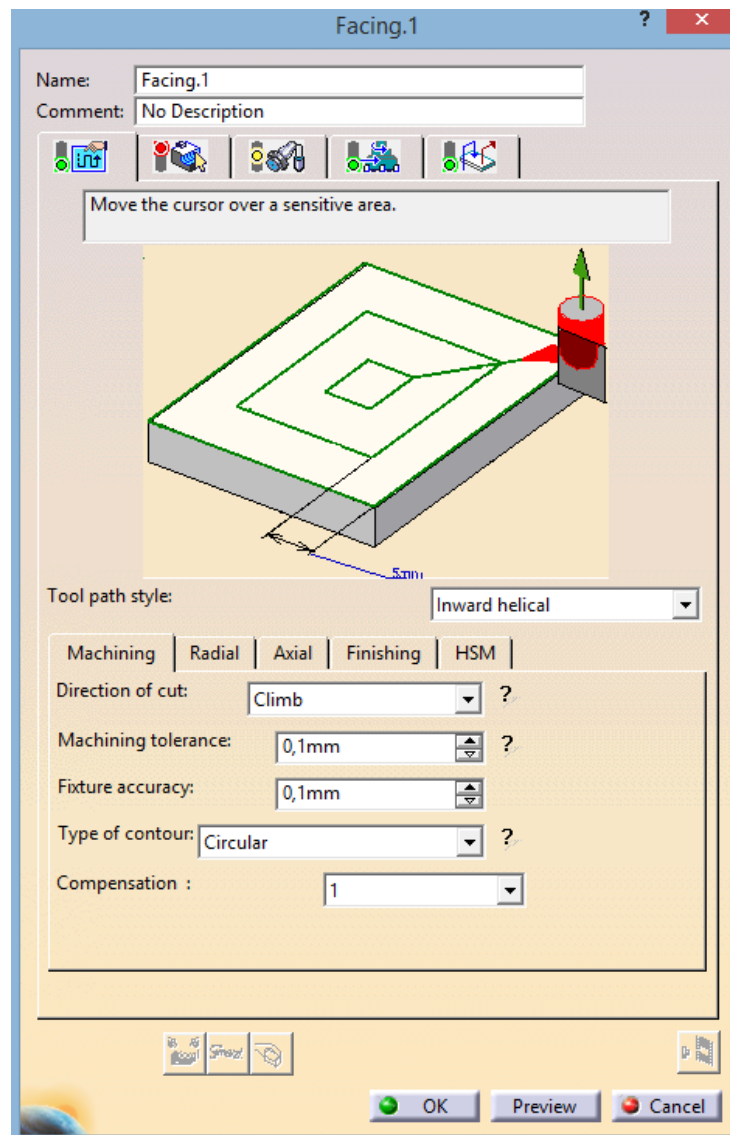



Figura 6-57. Planeado: Estrategia de mecanizado

- 
**Geometría a mecanizar:** Para planeado simplemente seleccionamos la superficie que va a ser mecanizada, su contorno y la superficie resultado. Podemos introducir también los puntos de entrada y salida de la herramienta, la dirección de entrada de la misma, *offset* en alguna cara...

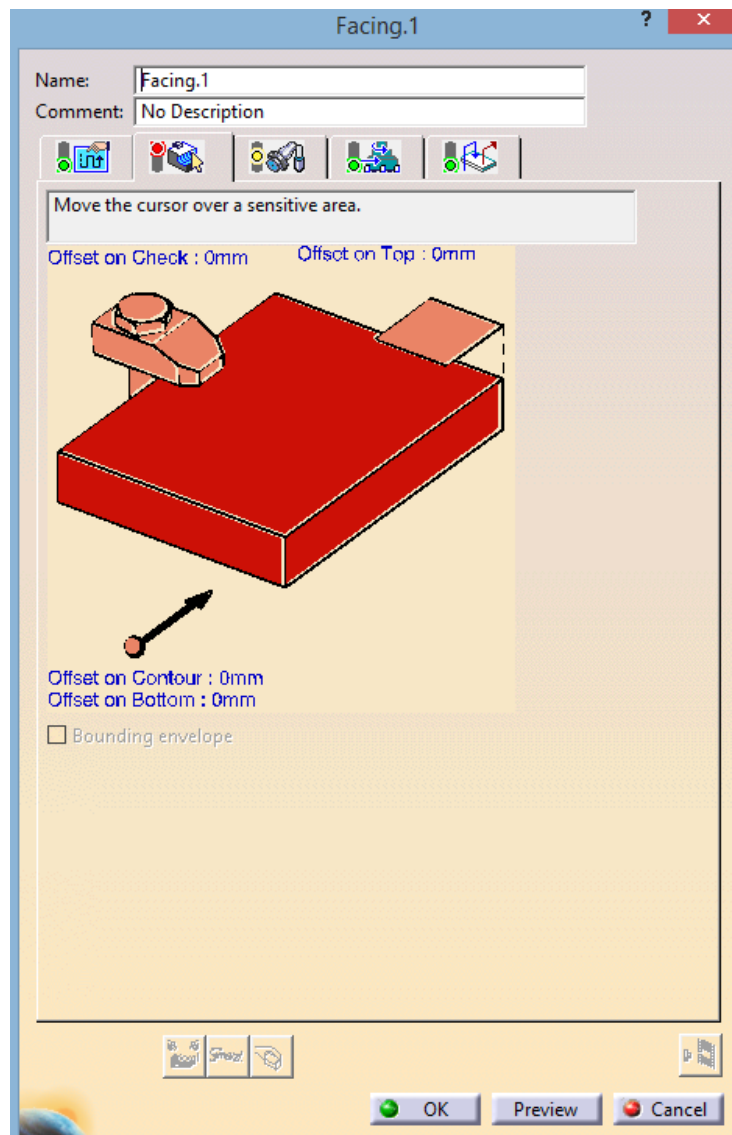




Figura 6-58. Planeado: Geometría a mecanizar

- 
**Herramienta y portaherramientas:** Ya explicado en el apartado **6.3.5.4. Elección de la herramienta**. No diseñamos ni seleccionamos portaherramientas.
- 
**Parámetros de corte:** Aquí seleccionamos las velocidades de aproximación, mecanizado, retracción, acabado y rotación. Podemos hacer que tome los valores automáticamente de la herramienta definida marcando la opción *Automatic compute from tooling Feeds & Speeds*.

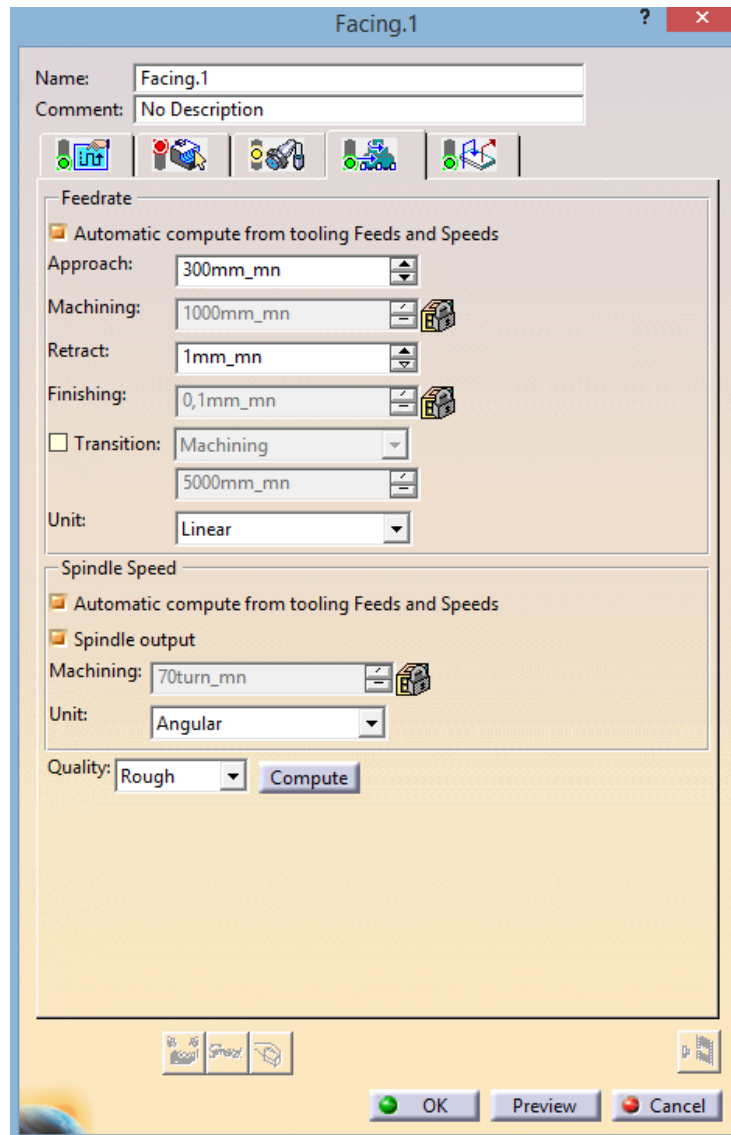



Figura 6-59. Planeado: Parámetros de corte

- 
**Macros:** Se tratarán con detalle en el apartado **6.4.1.7. Macros en operaciones de mecanizado**.

#### 6.4.1.2 Contorneado

Operación de mecanizado que permite eliminar material siguiendo un contorno dado. Para nuestra máquina CNC, de torno vertical, se trata de una operación de fresado periférico.

- 
**Estrategia de mecanizado:** Elegimos la trayectoria seguida por la herramienta (zig-zag, pasadas en una dirección o “hélice”) y la dirección de corte. A continuación, elegimos la secuenciación de la operación, es decir, si se avanza primero radial o axialmente, y parámetros de estos avances. También podemos elegir si damos o no pasadas de acabado.

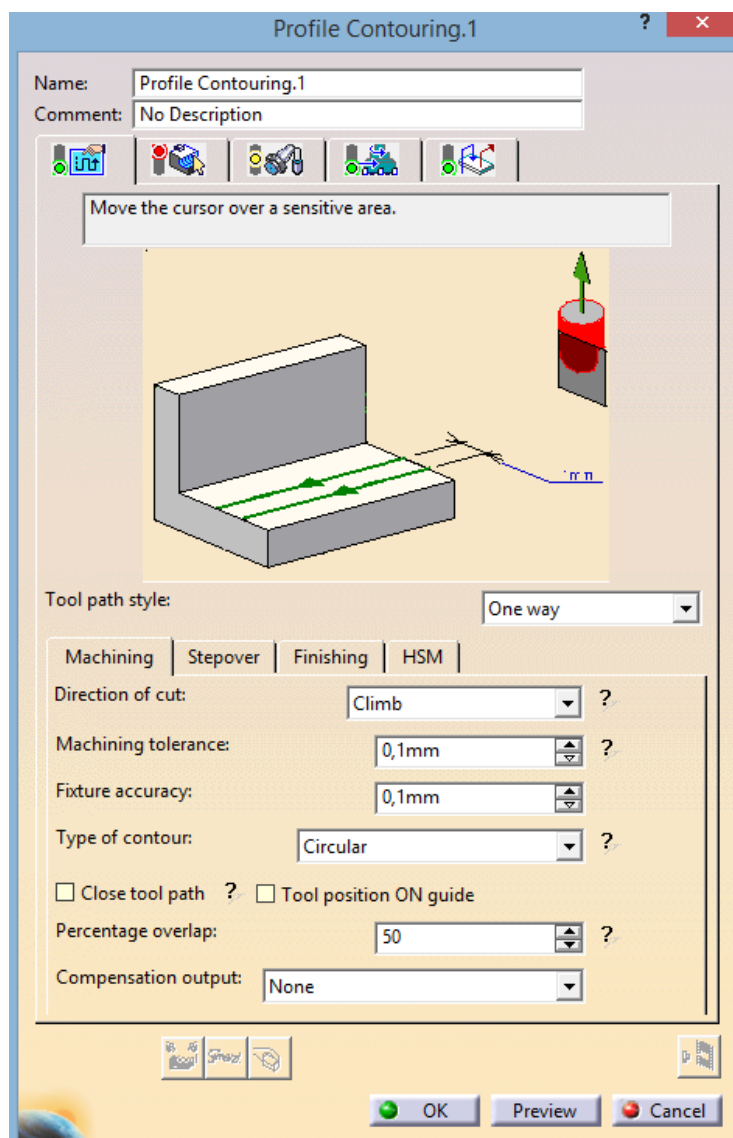



Figura 6-60. Contorneado: Estrategia de mecanizado

- 
**Geometría a mecanizar:** Para el contorneado, el menú correspondiente a la geometría mecanizada presenta varias opciones: entre dos planos, entre dos curvas o entre curva y superficies. Aparte podemos seleccionar si los puntos de entrada y salida se encuentran dentro, sobre o fuera de la superficie a mecanizar, diferentes *offsets*...

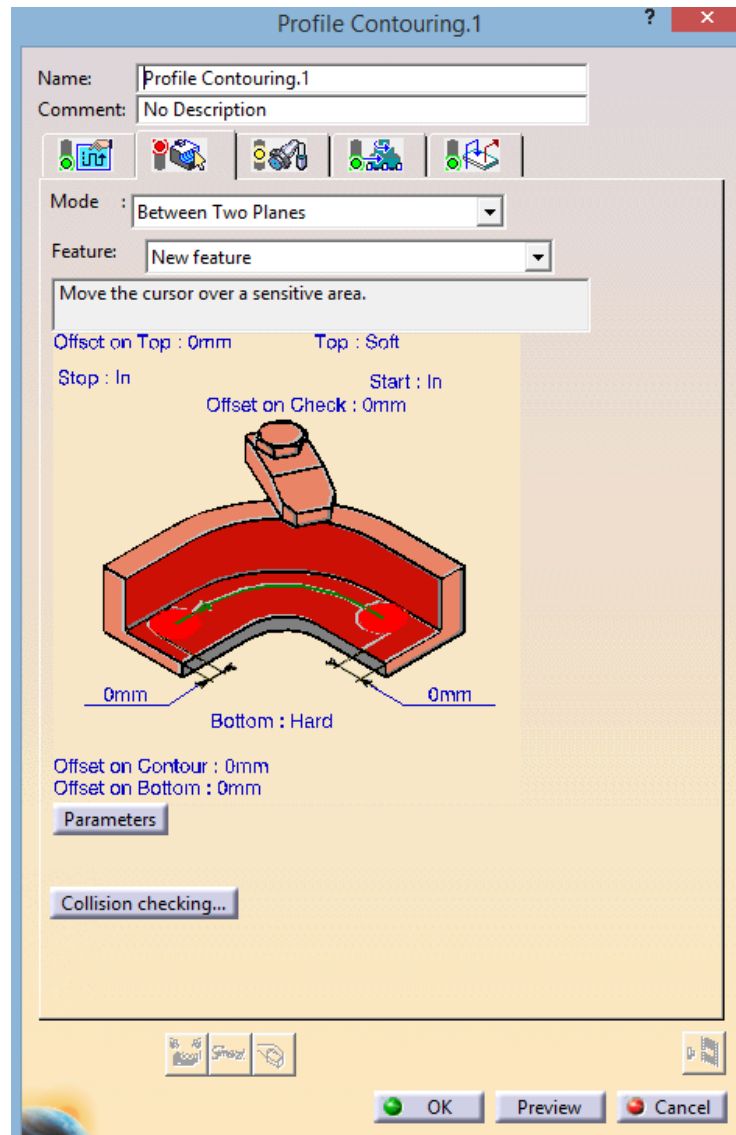




Figura 6-61. Contorneado: Geometría a mecanizar

- 
**Herramienta y portaherramientas:** Ya explicado en el apartado **6.3.5.4. Elección de la herramienta**. No diseñamos ni seleccionamos portaherramientas.
- 
**Parámetros de corte:** Igual que en planeado con la diferencia de que podemos aplicar reducción de velocidad en el mecanizado de esquinas.

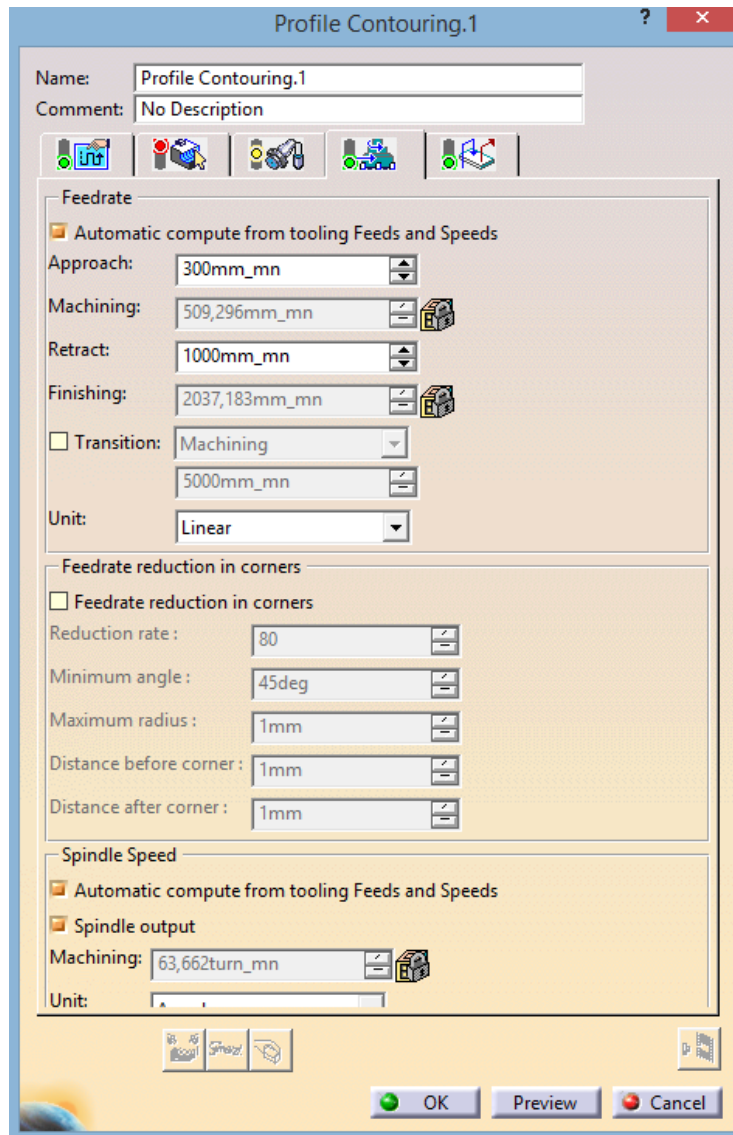



Figura 6-62. Contorneado: Parámetros de corte

- 
**Macros:** Se tratarán con detalle en el apartado 6.4.1.7. *Macros en operaciones de mecanizado.*

#### 6.4.1.3 Vaciado (Fresado combinado)

Operación de mecanizado que consiste en realizar un vaciado en una superficie de una pieza según un contorno definido.

- 
**Estrategia de mecanizado:** Elegimos la trayectoria seguida por la herramienta (helicoidal hacia fuera, helicoidal hacia dentro, zig-zag, pasadas en una sola dirección con *offset* o zig-zag con *offset*) y la dirección de corte. A continuación, seleccionamos parámetros de avance radial (penetración radial de la herramienta, cuanto sobresale...) y axial (penetración axial de la herramienta o número de pasadas). También podemos aplicar pasadas de acabado.



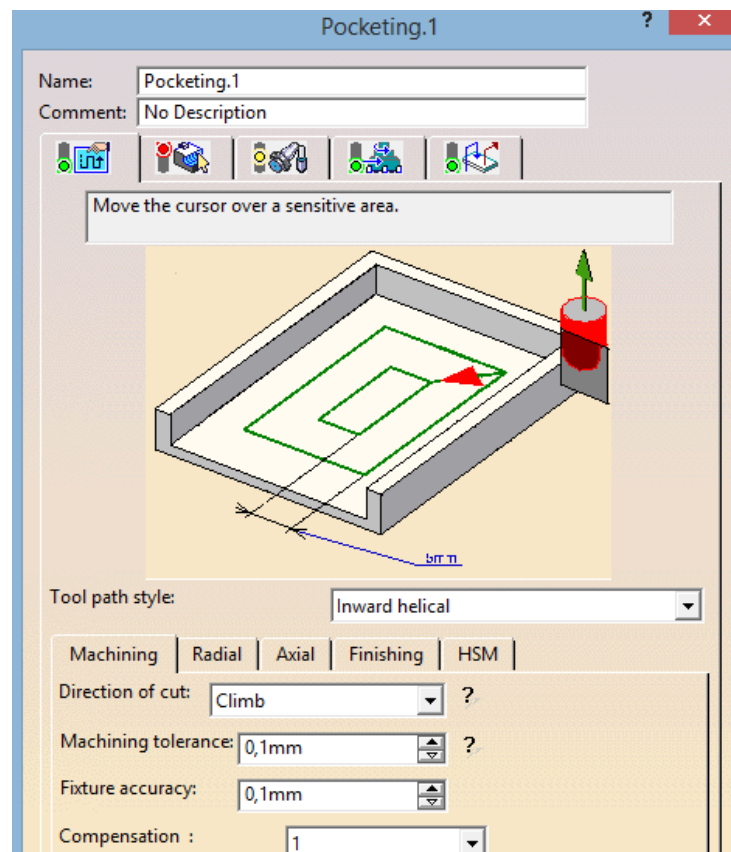



Figura 6-63. Vaciado: Estrategia de mecanizado

- 
**Geometría a mecanizar:** Para vaciado debemos determinar si el contorno es abierto o cerrado y seleccionar las superficies que van a ser mecanizadas. Podemos introducir también el punto de entrada de la herramienta, “islas” (volumen no mecanizado en el centro del vaciado), diferentes *offsets*...

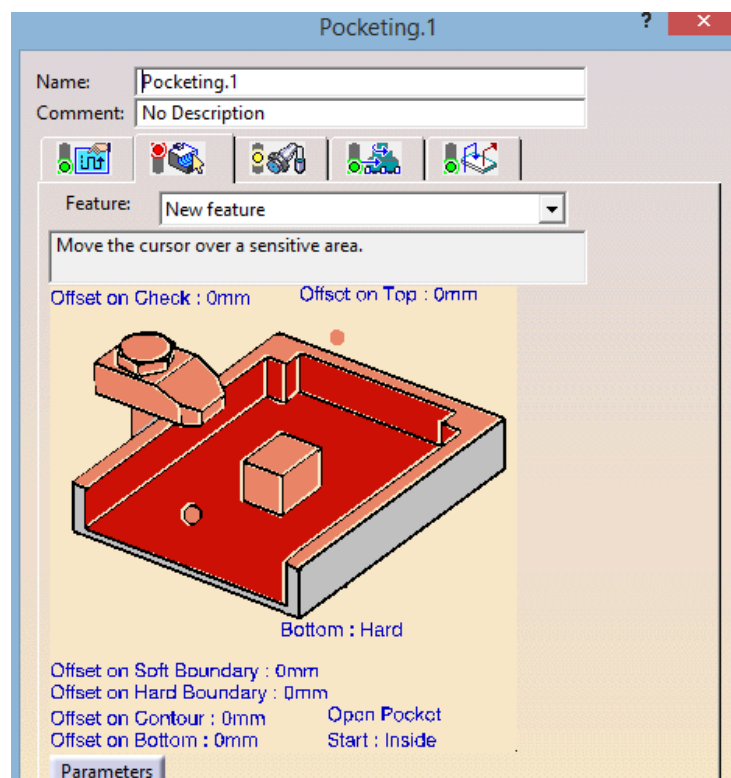






Figura 6-64. Vaciado: Geometría a mecanizar

-  **Herramienta y portaherramientas:** Ya explicado en el apartado 6.3.5.4. *Elección de la herramienta*. No diseñamos ni seleccionamos portaherramientas.
-  **Parámetros de corte:** Igual que en contorneado.
-  **Macros:** Se tratarán con detalle en el apartado 6.4.1.7. *Macros en operaciones de mecanizado*.

#### 6.4.1.4 Taladrado



Operación de mecanizado que consiste en realizar agujeros (pasantes o ciegos) en una pieza. Normalmente seguiremos secuencias de taladrado<sup>20</sup> (crecimiento progresivo del diámetro de la broca y el agujero realizado) que nos garantizan un mejor resultado, aunque para diámetros pequeños podemos optar por realizar la operación de una sola vez.

-  **Estrategia de mecanizado:** Permite añadir acercamiento de seguridad, modo de profundidad, penetración, modo de inmersión... En general, simula operaciones de taladrado en base a un menú de opciones más complejo que para otras operaciones.

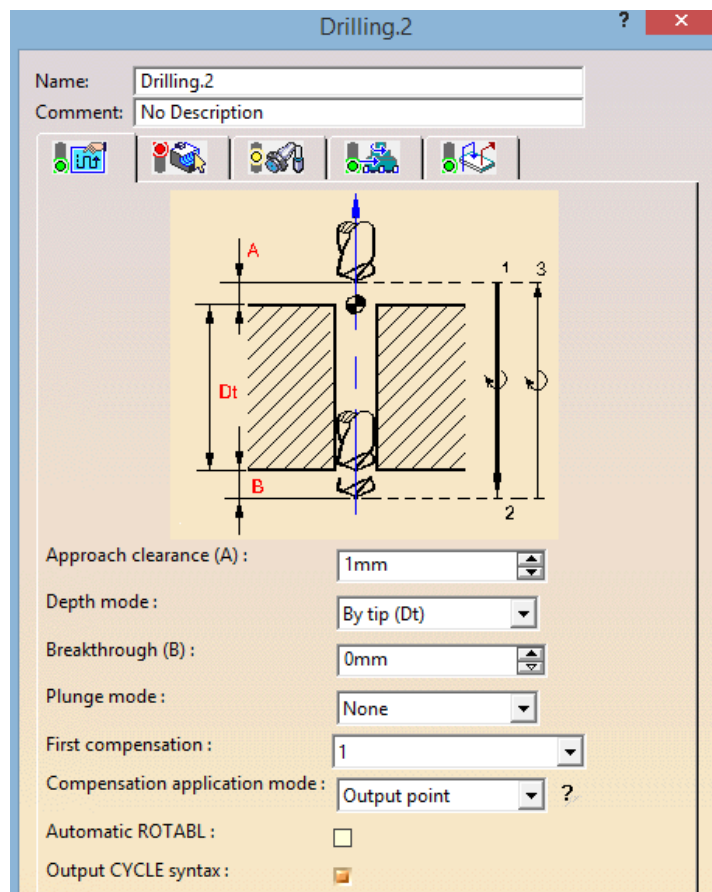



Figura 6-65. Taladrado: Estrategia de mecanizado

-  **Geometría a mecanizar:** Simplemente seleccionamos los agujeros que se deseen taladrar y se ajustarán automáticamente diámetro y profundidad, aunque sus valores se pueden editar. También podemos determinar si el agujero es ciego o pasante, aplicar *offsets*...

<sup>20</sup> En taladrado con máquinas neumáticas manipuladas por un operario seguir la secuencia de taladrado es obligatorio.

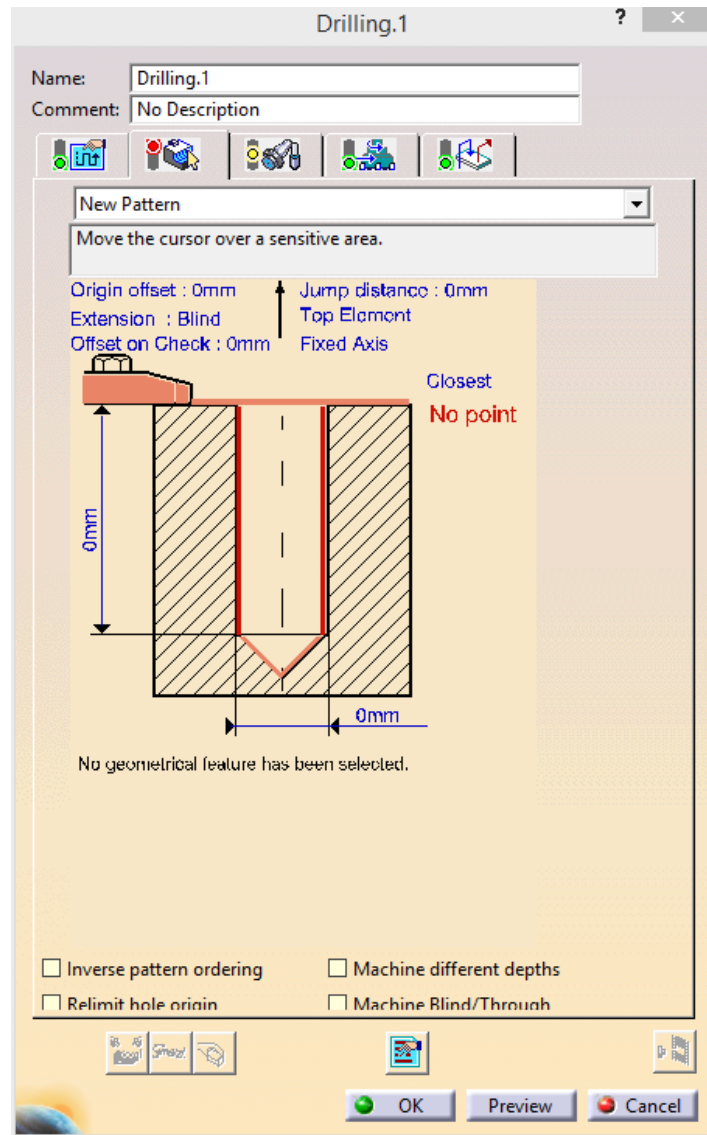





Figura 6-66. Taladrado: Geometría a mecanizar

-  **Herramienta y portaherramientas:** Ya explicado en el apartado 6.3.5.4. *Elección de la herramienta*. No diseñamos ni seleccionamos portaherramientas.
-  **Parámetros de corte:** Igual que en planeado.
-  **Macros:** Se tratarán con detalle en el apartado 6.4.1.7. *Macros en operaciones de mecanizado*.

#### 6.4.1.5 Escariado





Operación de mecanizado que consiste en agrandar o dar buen acabado superficial a agujeros. En nuestro caso será utilizada para dar buen acabado superficial a los agujeros previamente taladrados, es decir, se trata de una operación de acabado. Se aplica obligatoriamente en superficies exteriores de la aeronave.

En el entorno de CATIA presenta muchas similitudes con la operación de taladrado.

#### 6.4.1.6 Mecanizado de superficies



Operación de mecanizado para superficies curvas, se trata de operaciones más complejas. Las agrupamos todas en un mismo apartado por su similitud a la hora de definir las en el entorno de CATIA.

- 
**Estrategia de mecanizado:** En general la configuración de la estrategia de mecanizado en estas operaciones es muy compleja. Podemos configurar las trayectorias axial y radial, pasadas de acabado, mecanizado de esquinas... El método de mecanizado varía considerablemente entre distintas operaciones.
- 
**Geometría a mecanizar:** Simplemente seleccionamos el *PartBody* sobre el que queremos trabajar. Podemos añadir punto de entrada, plano de seguridad, áreas que ignorar, límites en el contorno, etc. También podemos determinar si el agujero es ciego o pasante, aplicar *offsets*...

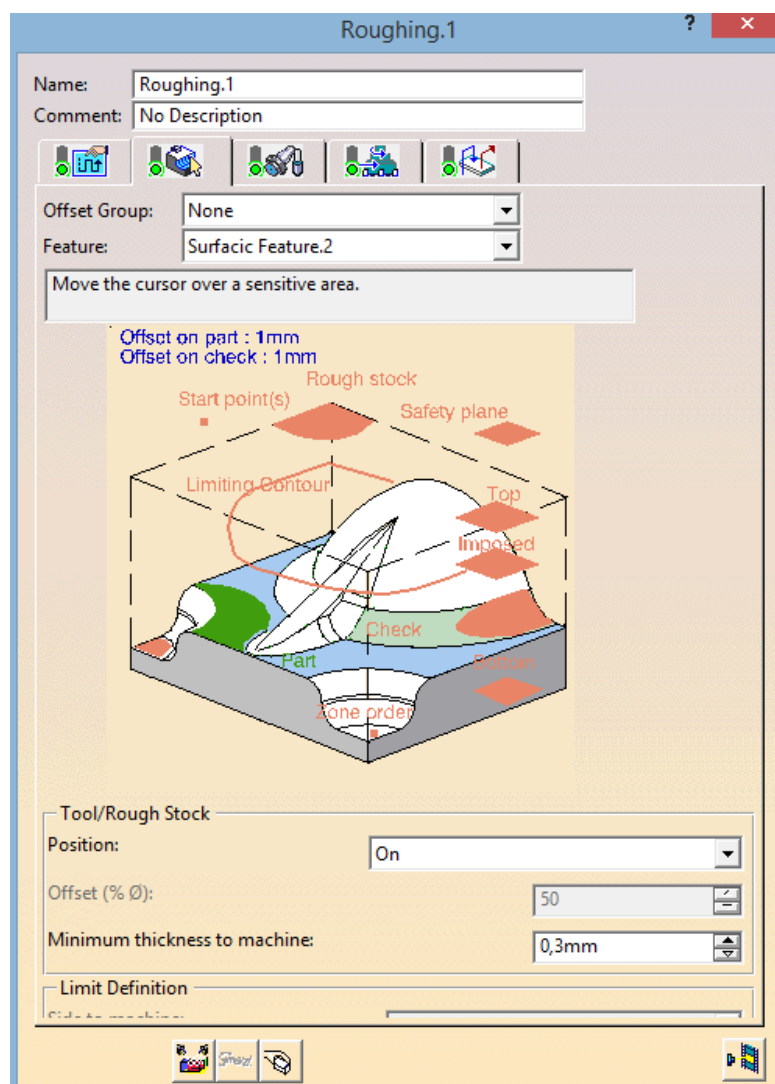






Figura 6-67. Mecanizado de superficies (desbaste): Geometría a mecanizar

- 
**Herramienta y portaherramientas:** Ya explicado en el apartado 6.3.5.4. *Elección de la herramienta*. No diseñamos ni seleccionamos portaherramientas.
- 
**Parámetros de corte:** Igual que en planeado o contorneado.
- 
**Macros:** Se tratarán con detalle en el apartado 6.4.1.7. *Macros en operaciones de mecanizado*.

### 6.4.1.7 Macros en operaciones de mecanizado

Las macros tienen como objetivo evitar la colisión con la pieza mecanizada, el utillaje y la máquina CNC, pudiéndose establecer en todas las operaciones de mecanizado expuestas anteriormente. Para ello bastará con seleccionar la pestaña  dentro del menú correspondiente a una determinada operación.









Macro Management		
Macro	Name	Mode
 Approach	Approach.1	Build by user
 Retract	Retract.1	Build by user
 Clearance	Clearance.1	To safety plane
 Linking Retract	Linking.1	Build by user
 Linking Approach	Linking.1	Build by user
 Return in a Level Retract	Return in a Level.3	Build by user
 Return in a Level Approach	Return in a Level.3	Build by user
 Return finish pass Retract	Return Finish Path.1	Build by user

Figura 6-68. Algunas de las macros disponibles

A continuación se describen las macros más utilizadas en nuestro proyecto.

- **Approach/Retract:** Destinada a evitar la colisión de herramientas en movimiento rápido, que se retiran de la zona conflictiva para cambiar las condiciones de corte. Lo más habitual es utilizar el modo *Axial*, es decir, una altura a partir de la cual se hacen efectivos los cambios de velocidad, etc.

A continuación se muestran las macros de aproximación y retirada que utilizaremos con mayor frecuencia, de ahí que las llamemos macros de aproximación y retirada “del usuario”.

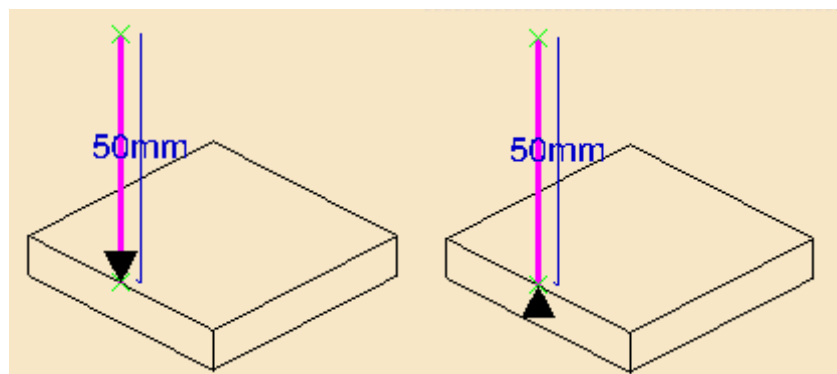


Figura 6-69. Macros de aproximación y retirada del usuario

- **Clearance:** Sirve para definir la altura a la que se realiza la transición de fases en operaciones discontinuas.

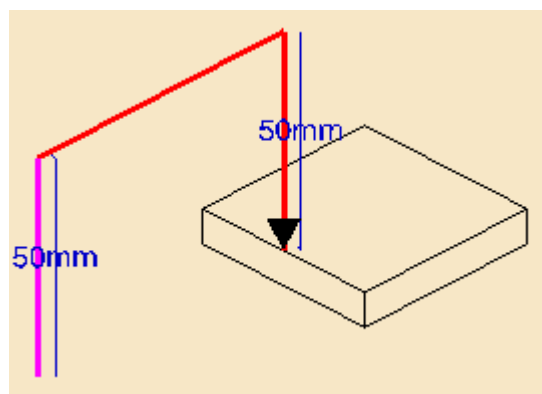


Figura 6-70. Macro de aclarado del usuario



En muchas ocasiones nos veremos obligados a definir complejas macros para evitar colisiones en la simulación de operaciones. Normalmente ocurre cuando cambiamos la orientación de la herramienta respecto de la pieza (**Tool Axis**), lo que en la realidad se corresponde con paradas de máquina seguidas del consecuente giro de la pieza, ya que el husillo, el portaherramientas y la herramienta siempre se sitúan en perpendicular a la mesa de trabajo. Esta forma de proceder se debe fundamentalmente a que desconocemos como realizar estos giros de la pieza en el entorno de CATIA, tras probar el cambio de ejes de mecanizado (**Machining Axis Change**) y la rotación de la máquina CNC (**Machine Rotation**) sin éxito.

#### 6.4.1.8 Pinzado

Operación previa al remachado. Consiste en “pinzar” las uniones de piezas mediante pinzas o clecos para que éstas queden perfectamente colocadas de acuerdo a su posición final.

De esta manera, se irían retirando progresivamente las pinzas conforme se va remachando la estructura. Es frecuente también el pinzado de piezas en determinadas uniones, para posicionar las piezas y taladrarlas (por ejemplo a la hora de taladrar las pieles del avión).



Figura 6-71. Pinzado de uniones entre costillas y largueros del ala

#### 6.4.1.9 Remachado

Operación de deformación en frío que tiene como objetivo unir piezas previamente taladradas por medio de remaches (objeto que atraviesa la unión).

Existen múltiples formas de proceder a la hora de remachar, dependiendo fundamentalmente de la accesibilidad de la zona y del remache utilizado. La forma más común de remachado es mediante el uso de un entibe o sufridera y una remachadora tipo pistola, equipada con una determinada buterola que se mueve rápidamente adelante y atrás. El remachado puede ser directo o indirecto.

- **Remachado directo:** la sufridera se coloca contra la cabeza del remache sólido y los impactos se aplican al vástago del mismo.
- **Remachado indirecto:** la sufridera se coloca contra el vástago del remache sólido y los impactos se aplican a la cabeza del mismo.

Usaremos el remachado indirecto que garantiza que el remache quede a ras de la superficie. Por tanto, la forma de la buterola dependerá de la cabeza del remache escogido.



Figura 6-72. Remachado indirecto con pistola de remachado

Para agujeros de unión que sólo son accesibles desde una cara, se utilizan los remaches ciegos. La operación de remachado con remaches ciegos consiste en tirar del mandril de manera que la cabeza del mandril provoque la expansión del cuerpo del remache, efectuando así la unión. Dependiendo del remache usaremos la remachadora *Huck*, la *Cherry* o la remachadora manual para remaches ciegos.



Figura 6-73. Remache ciego

#### 6.4.2 Operaciones no simuladas

Se trata de operaciones que no se mostrarán en el entorno de CATIA V5, bien por desconocer su forma de implementación en el software o porque quedan fuera del proceso de nuestro proyecto. Mayoritariamente serán operaciones destinadas a la obtención de piezas de catálogo (comerciales) que encargamos directamente a un proveedor (a modo de ejemplo, si necesitamos una barra de aluminio de diámetro 30mm y longitud 100mm, contactaremos con un proveedor al que encargaremos esta pieza, no será fabricada por nosotros).

A continuación se describen algunas de las más utilizadas.

### 6.4.2.1 Torneado

Proceso de mecanizado en el que se hace girar la pieza, desplazándose la herramienta (monofilo) longitudinal y transversalmente a la pieza. Existen muchas operaciones de torneado: cilindrado, refrentado, perfilado, ranurado, contorneado, tronzado, roscado...

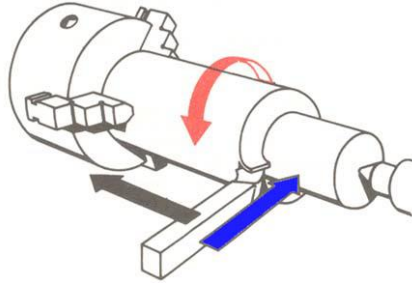


Figura 6-74. Esquema de torneado

### 6.4.2.2 Laminación de metales

Proceso de conformado mediante la compresión del material entre dos rodillos giratorios que reducen el espesor de dicho material y le dan forma.

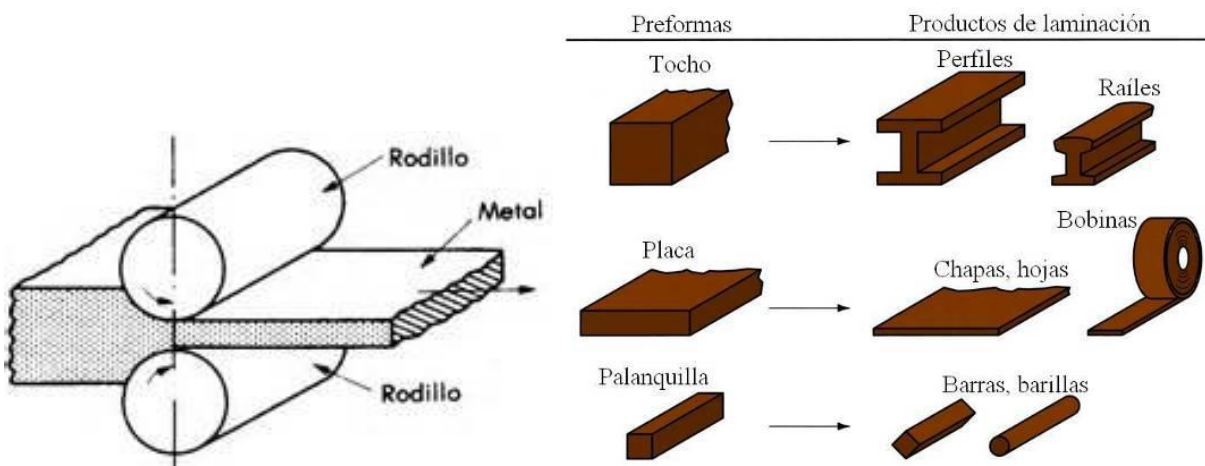


Figura 6-75. Esquema de laminación y preformas y productos característicos

### 6.4.2.3 Extrusión de metales

Proceso de conformado mediante compresión del material forzándolo a pasar por el orificio de una matriz. Existen diversos tipos: extrusión directa, extrusión indirecta, extrusión por impacto...

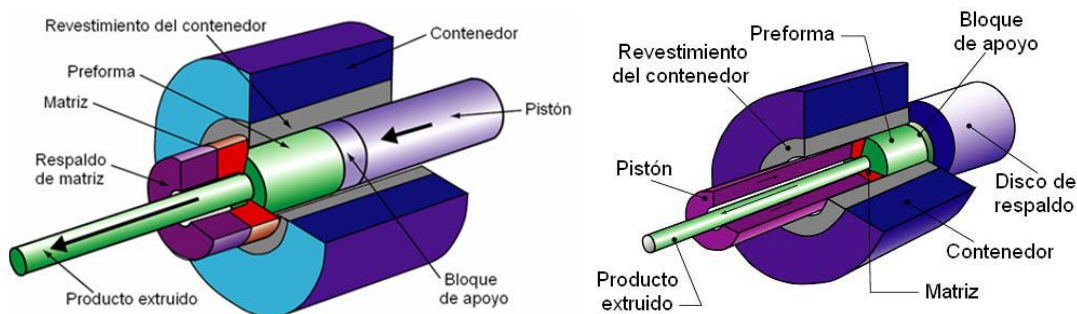


Figura 6-76. Esquema de extrusión directa e indirecta



#### 6.4.2.4 Estirado de metales

Proceso de conformado mediante tracción del material forzándolo a pasar por el orificio de una matriz (hilera).

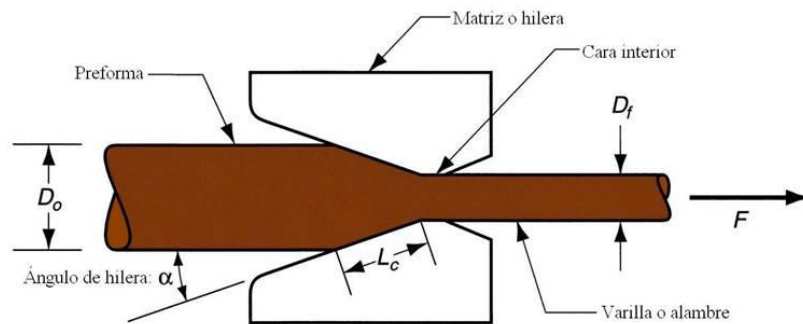


Figura 6-77. Esquema de estirado

#### 6.4.2.5 Corte de chapa metálica

Proceso de conformado mediante la aplicación de esfuerzos cortantes localizados con el uso conjunto de matriz y punzón.

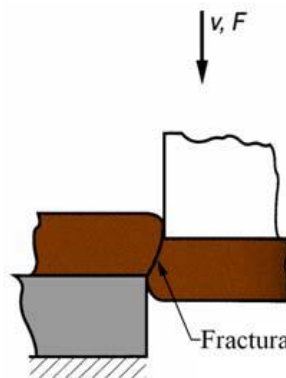


Figura 6-78. Esquema de corte de chapa

También se puede efectuar el corte de chapa por aserrado o con soplete, rayo láser o chorro de agua a presión.

#### 6.4.2.6 Doblado de chapa metálica

Proceso de conformado mediante esfuerzos de flexión para conseguir una doblez permanente. Existen numerosas variantes para el doblado de chapa: doblado en V, doblado de bordes, doblado al aire, doblado con máquina de cuatro correderas, rebordeado, doblado en agujeros...

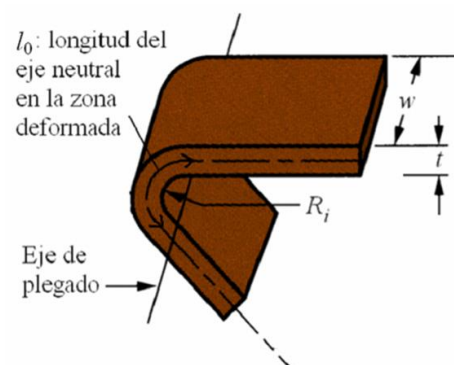


Figura 6-79. Esquema de doblado de chapa

#### 6.4.2.7 Embutición de chapa metálica

Proceso de conformado mediante acción de un punzón que introduce chapa en la cavidad de una matriz para obtener piezas huecas con base cerrada.

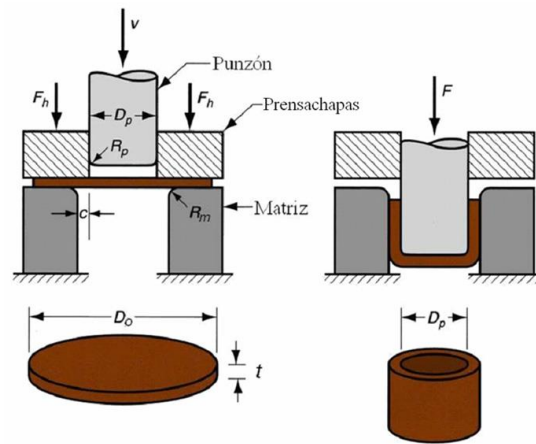


Figura 6-80. Esquema de embutición de chapa

#### 6.4.2.8 Estirado de chapa metálica

Proceso de conformado de chapa mediante la actuación de una matriz con la forma de la pieza deseada sobre una chapa sujeta por mordazas en sus extremos. Este proceso se utiliza para conformar las pieles metálicas que recubren el ala.

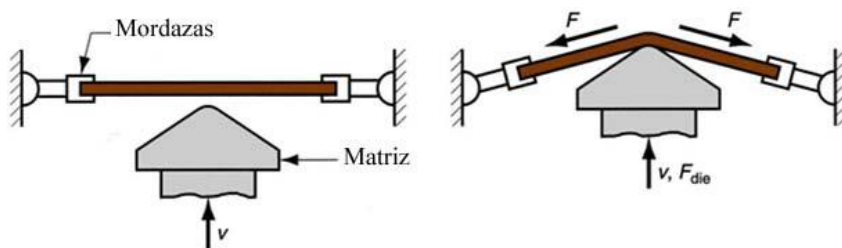


Figura 6-81. Esquema de estirado de chapa

#### 6.4.2.9 Conformado rotativo o rechazado de chapa metálica

Proceso de conformado de chapa mediante la acción de rodillos sobre un mandril giratorio. Utilizado en la fabricación del morro del avión.

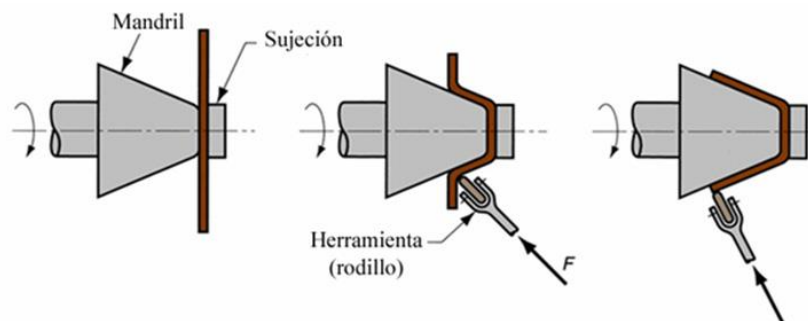


Figura 6-82. Esquema de conformado rotativo de chapa

## 6.5 Inicio del proceso: Líneas generales a seguir

### 6.5.1 Fabricación

En el caso de la fabricación desde cero del avión, el primer paso sería recopilar la información suficiente para reproducir un modelo concreto del avión. Esta información engloba:

- Planos acotados o modelos CAD fruto de la restauración de patrimonio aeronáutico.
- Detalles del proceso de fabricación de la aeronave.

Una vez reunida esta información necesitamos adquirir los materiales necesarios, las herramientas y útiles adecuados para la manipulación de cada uno de los componentes del avión (útiles que tendrían que pasar un proceso de certificación por la Autoridad de Aviación Civil correspondiente), mano de obra especializada, un ingeniero o equipo de ingenieros que supervise y apruebe el proyecto...

Como alternativa podríamos acudir a una compañía como la mencionada Airframe Assemblies Ltd que cuenta con la información requerida, maquinaria y herramientas específicas, personal cualificado, certificaciones y experiencia previa en la construcción del Supermarine Spitfire.

Es decir, lo que explicábamos en el apartado **5.2.2 Proyectos en la actualidad**, pero ampliado a la totalidad del avión y no sólo a los componentes que necesiten ser sustituidos o restaurados.

### 6.5.2 Restauración

#### 6.5.2.1 Desmontaje

Es el primer paso del proceso de restauración. Debemos ser sumamente organizados y disponer de instrucciones y diagramas que proporcionen la información requerida no solo a la hora de desmontar, sino también para el posterior montaje de piezas, ya sean reparadas o fabricadas de cero.

El desmontaje de la aeronave exige en primera instancia la separación de módulos, es decir, separar las alas, la cola, el grupo motopropulsor y el tren de aterrizaje del fuselaje. Una vez realizado esto, desmontamos todos los componentes y cada parte constituyente de estos, para lo cual debemos retirar todos los remaches, tornillos, casquillos, pernos, tuercas, arandelas, etc.

##### 6.5.2.1.1 Cómo quitar remaches

La dinámica a la hora de quitar remaches consiste básicamente en taladrar de nuevo la unión remachada, lo cual nos permite retirar la cabeza del remache. Si fuese necesario, podemos retirar el resto del remache mediante el uso del botador cilíndrico adecuado y un martillo. Existen alternativas como el uso de una radial, no recomendado por el daño que podemos provocar a la chapa.

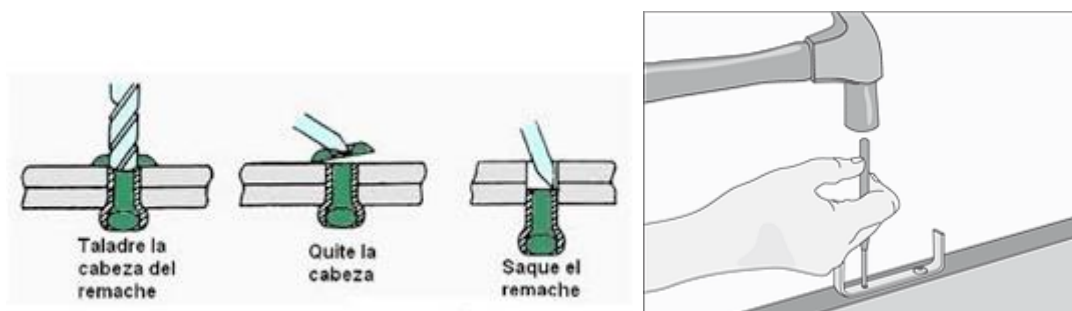


Figura 6-83. Procedimiento para quitar remaches

### 6.5.2.2 Inspección y evaluación

Es el paso que sigue al desmontaje de la aeronave. Analizaremos los diferentes criterios de análisis y las técnicas de evaluación de piezas.

#### 6.5.2.2.1 Piel, cuadernas y costillas

En un primer instante se llevará a cabo una inspección a ojo para detectar grietas, abolladuras, corrosión u orificios de remachado alargados. Algunos de estos defectos pueden ser arreglados si las piezas implicadas no son significativas estructuralmente.

- **Pequeñas grietas:** eliminadas por relleno.
- **Pequeñas abolladuras:** arregladas mediante el uso de martillos especializados.
- **Corrosión:** se elimina químicamente o por lijado si no exige suprimir demasiado material.
- **Agujeros alargados:** Se pueden agrandar hasta el siguiente tamaño de remache.

Para conocer los límites aceptables de reparación, especificaciones de metal y tamaño de remaches se usa el manual de reparación AP1565. Desviarse de las pautas marcadas exige la aprobación del esquema de reparación por parte de un ingeniero y la autorización de la Autoridad de Aviación Civil correspondiente. Según este manual existen tres categorías de daños:

- **Daño insignificante.**
- **Daño reparable mediante parches.**
- **Daño que debe reemplazarse.**

Debe prestarse especial atención con las reparaciones mediante parches, no solo por la manera en que afectan a la apariencia de la aeronave, sino también por su influencia en el rendimiento y operaciones (cambios en el peso y centro de gravedad).

Aparte de la inspección visual también se realizarán inspecciones con calibres y micrómetros a los agujeros del portador de motor, de los largueros y de las uniones de las alas, cuya tolerancia es muy específica. También se llevarán a cabo pruebas no destructivas para verificar la corrosión y el agrietamiento, tales como el uso de rayos X en los largueros.

#### 6.5.2.2.2 Cableado eléctrico

Se recomienda su total sustitución por uno nuevo, empleándose el antiguo o lo que quede de él como guía. Por tanto, no necesita de labores de inspección y evaluación relevantes.

#### 6.5.2.2.3 Instrumentos

A la hora de evaluar los instrumentos de cabina lo prioritario es asegurarse de que el cristal esté intacto, ya que los medidores son radioactivos y puede suponer un peligro para la salud manipularlos sin la debida protección. No obstante, como comentábamos en apartados anteriores, los instrumentos deberán ser renovados en su mayoría debido a la legislación aeronáutica actual.

#### 6.5.2.2.4 Componentes hidráulicos

Después de su desmontaje se procede a comprobar la existencia de grietas, abolladuras o corrosión interna. Una vez solventados estos defectos se realiza una prueba de presión a 1800psi<sup>21</sup> en todos los elementos. Teniendo en cuenta que la presión hidráulica de la aeronave es de 1200psi, esta prueba garantiza que no haya fugas en las uniones soldadas.

Por otro lado, todas las juntas de goma deben ser reemplazadas como consecuencia de la degradación que sufre este material con el tiempo. Se recomienda seguir el manual serie 1803N, que establece los procedimientos de prueba y los ajustes y holguras de estos componentes.

---

<sup>21</sup> psi: Libras por pulgada cuadrada. Equivale a 0,068046 atmósferas y 6894,7609 Pascales.

## 6.6 Fuselaje

El fuselaje es un tubo unicelular de pared delgada que constituye la parte principal de la estructura de la aeronave y cuya función es aguantar y transmitir cargas concentradas y de inercia. A él se acoplan el resto de módulos, es decir, alas, tren de aterrizaje, morro y grupo motopropulsor, cola...

El Spitfire Mk IX está compuesto por quince cuadernas (5, 6, 8-18, 18a y 19c), siete largueros principales (cuatro inferiores, dos laterales y uno superior), pieles metálicas (revestimientos) y una serie de larguerillos laterales distribuidos de la mejor manera para repartir las cargas de forma equitativa y servir de soporte para las pieles.



Figura 6-84. Fuselaje del Spitfire Mk IX

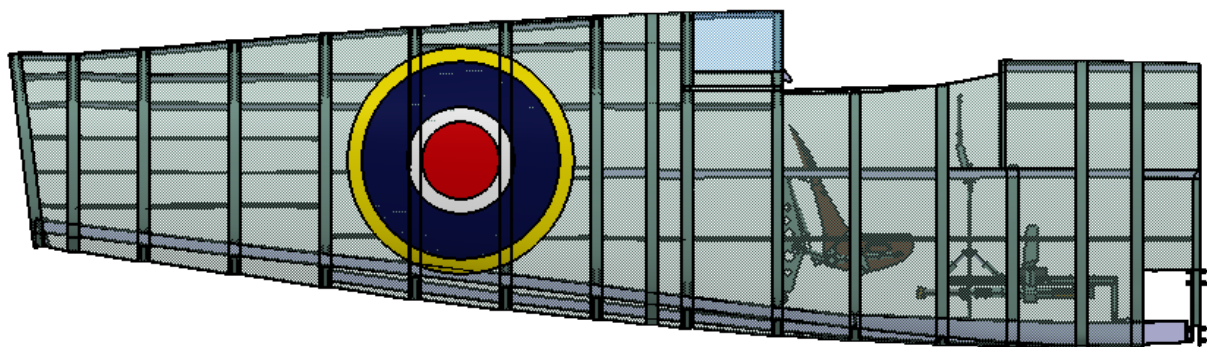


Figura 6-85. Fuselaje modelado en CATIA

### 6.6.1 Primeros pasos de la restauración

Para empezar se retiran todos aquellos sistemas alojados en el fuselaje, tales como:

- Sistema hidráulico.
- Sistema neumático.
- Sistema de control del timón de profundidad y del timón de dirección.
- Panel de instrumentos.
- Sistema de cableado y equipamiento eléctrico asociado.
- Sistema de oxígeno (normalmente desmontado en los ejemplares adquiridos).

Ahora el fuselaje puede ser desmontado e inspeccionado correctamente en los útiles y plantillas específicos de costillas, largueros y pieles. El primer análisis se centra en la corrosión obvia, rotura de pieles y cuadernas o distorsiones del fuselaje. También es de interés identificar reparaciones previas y otras zonas críticas. Un ejemplo de zona crítica es la cuaderna 5 que lleva la unión con las alas y donde puede haber elongación de los agujeros de unión (los expertos coinciden en su sustitución).

## 6.6.2 Cuadernas

Las cuadernas son los elementos que dan forma y rigidez a la estructura. A continuación se describen las operaciones llevadas a cabo en la fabricación de cada una de las quince cuadernas, simulándose el proceso para las cuadernas 11, 9 y 5.

### 6.6.2.1 Cuaderna 11

El hecho de comenzar por la cuaderna 11 se debe a su complejo diseño y al elevado número de componentes que posee, debido fundamentalmente a que sirve de soporte para el asiento del piloto. De esta manera los pasos seguidos a la hora de analizar, describir y simular su fabricación/restauración, servirán como esquema representativo de la dinámica de trabajo que debemos seguir con el resto de cuadernas.

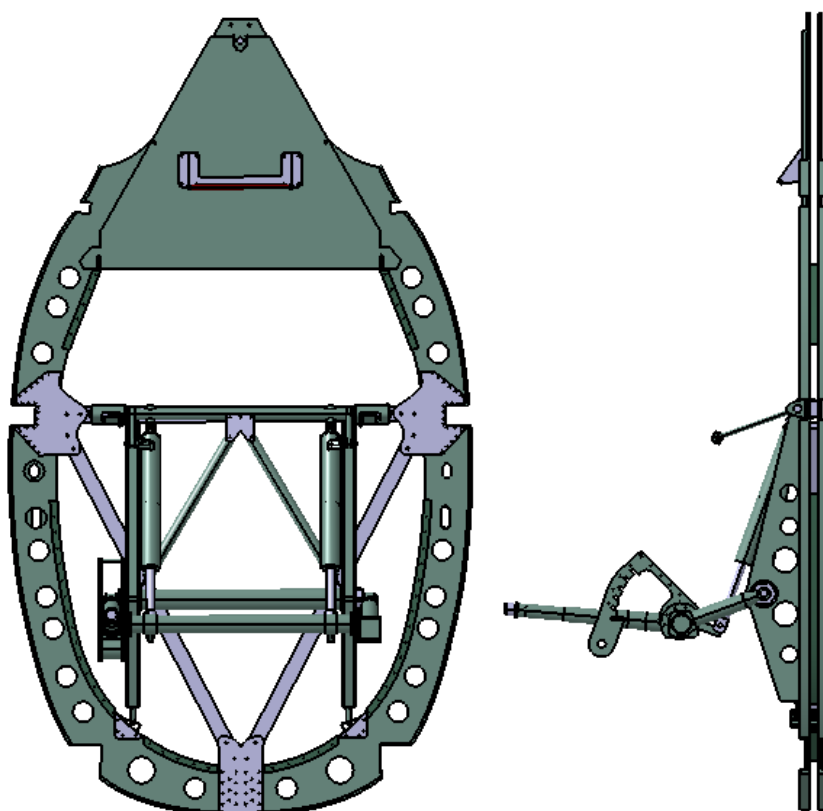


Figura 6-86. Cuaderna 11 modelada en CATIA

Para esta cuaderna recrearemos la fabricación de cada uno de sus componentes, (excepto elementos repetitivos, elementos comerciales, remaches y tornillería), así como las operaciones de ensamblaje. Todo ello, como hemos indicado anteriormente, para que la recreación sea lo más completa posible y sirva de referencia para el resto de cuadernas.

#### 6.6.2.1.1 Sección 11 (Rediseñada)

Llamamos sección 11 al marco de la cuaderna 11, el cual está compuesto por dos chapas de aluminio, unidas mediante el remachado de seis más.

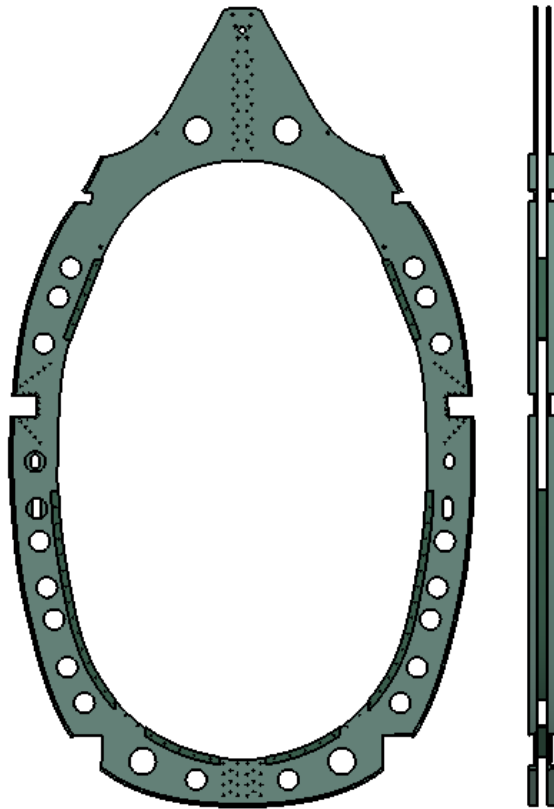


Figura 6-87. Sección 11 modelada en CATIA

Durante el desarrollo del TFG diseñamos esta sección como una única chapa de 27mm de espesor, con una chapa perimetral que sigue el contorno exterior y que nos sirve de base para el remachado de las pieles. Al abarcar en este trabajo la fabricación de la aeronave, hemos detectado que este diseño es incorrecto porque el peso de la cuaderna sería excesivo pese a ser de aluminio y porque obtener una pieza de estas características sería difícil, suponiendo mayores costes y tiempos de fabricación.

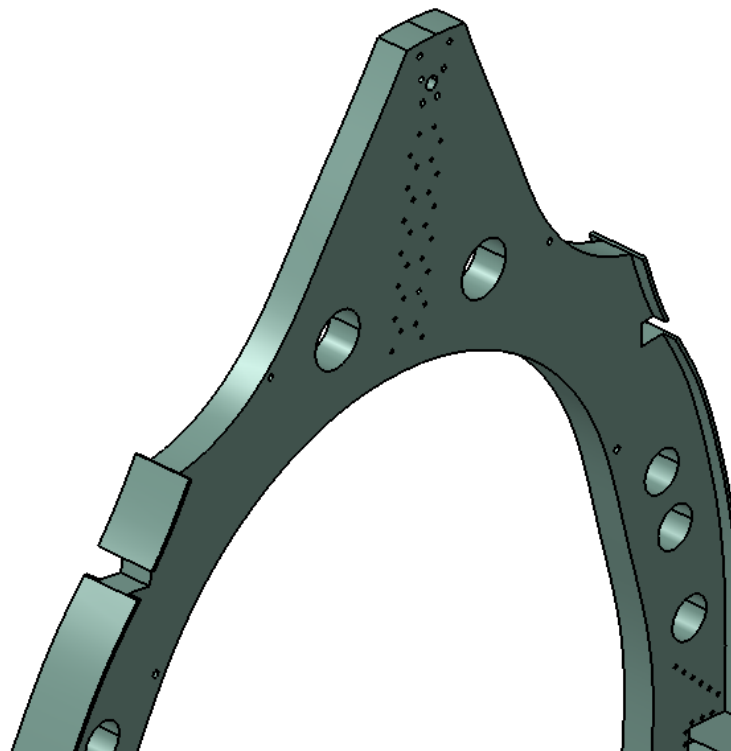


Figura 6-88. Sección 11: Diseño erróneo



El remodelado de la sección 11 implica pasar de un *CATPart* a un *CATProduct* formado por las ocho chapas que comentábamos anteriormente. El modelado de las caras anterior y posterior lo hacemos a partir del antiguo diseño, introduciendo los siguientes cambios:

- Cambio de espesor en la operación de extrusión (*Pad.1*) de 27 a 5mm.

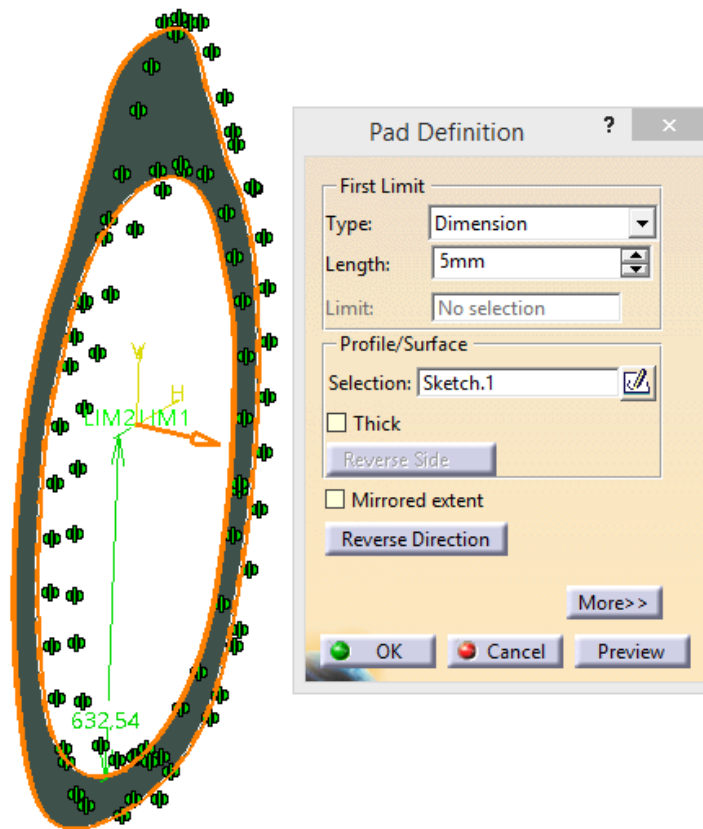


Figura 6-89. Sección 11: Cambio de espesor en extrusión

- Pequeño cambio en la sección de la operación *Rib.1*, para obtener la chapa perimetral sobre la que se remachan las pieles. Hacemos que la chapa perimetral sobresalga lo mismo desde la chapa frontal, es decir, 11.5mm y su espesor pasa de 3 a 5mm (en consonancia con el espesor de las chapas frontales).

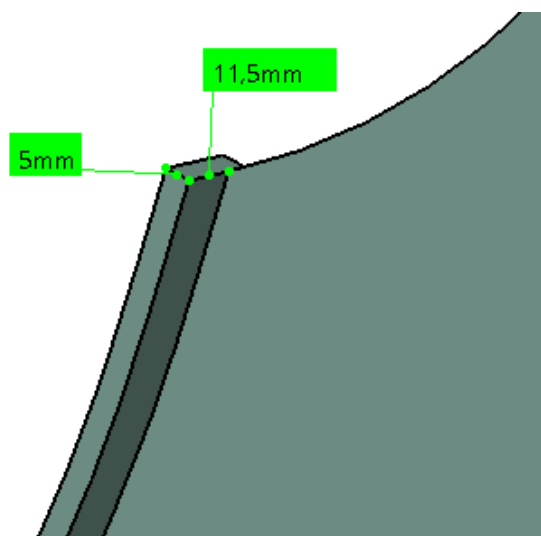


Figura 6-90. Sección 11: Cambio en la operación *Rib.1*

- Adición de una nueva operación de vaciado (*Pocket.4*) para el remachado con la chapa intermedia. Se trata de taladros de 2.5mm de diámetro.



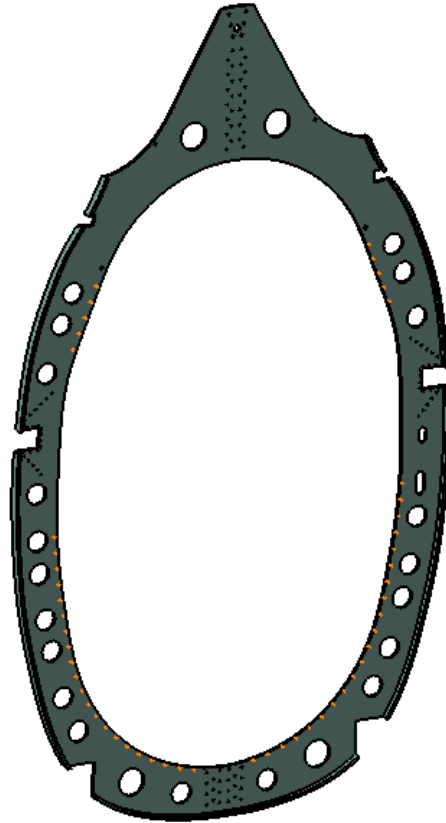


Figura 6-91. Sección 11: Vaciado para remachado de chapas

A continuación explicamos el proceso de modelado de las chapas de unión (dos para la parte superior y cuatro para la parte inferior). Al ser muy similares nos centramos en la chapa de unión de la parte superior para explicar el procedimiento, que consiste básicamente en la realización de dos operaciones:

1. **Rib.1:** Hacemos que el perfil que se muestra en la siguiente figura siga parte del contorno interior de la chapa frontal.

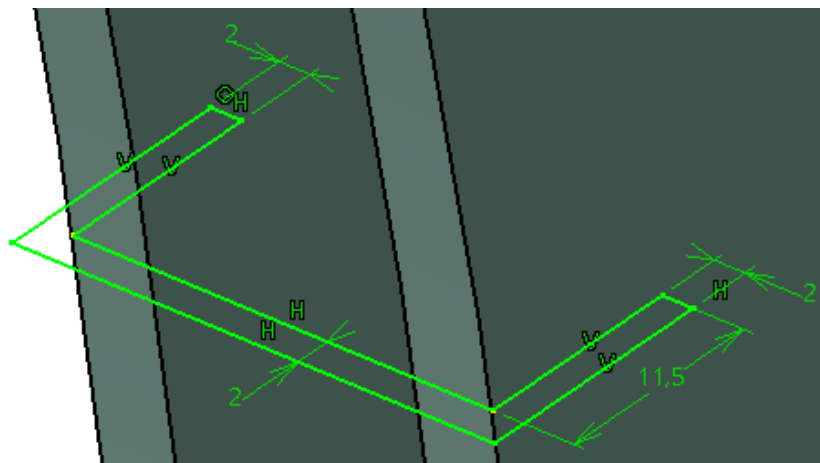


Figura 6-92. Sección 11-chapas de unión: Operación rib

2. **Vaciado 1 (Pocket.1):** Para el posterior remachado con las chapas frontales. Se trata de taladros de diámetro 2.38mm.



Figura 6-93. Sección 11: Chapas de unión de la parte superior modeladas en CATIA



Figura 6-94. Sección 11: Chapas de unión de la parte inferior modeladas en CATIA

Una vez explicado el rediseño de la parte principal de la cuaderna 11, procedemos a analizar el proceso de fabricación. Empezamos por las chapas frontales, teniendo en cuenta que tras las operaciones en la máquina CNC, haremos una operación de doblado de chapa en los bordes. Por ello, debemos dejar un margen para que al doblar la chapa obtengamos el resultado buscado.

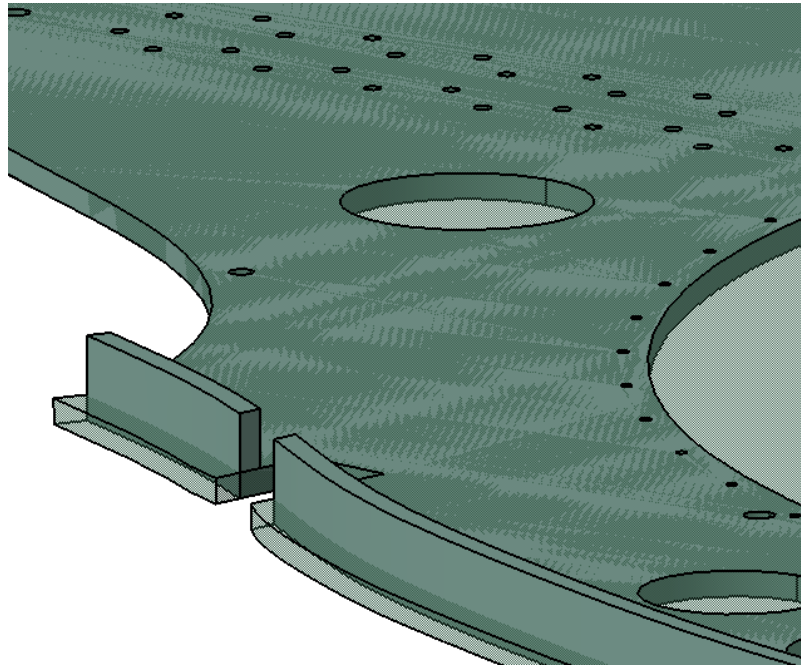


Figura 6-95. Sección 11: Resultado de mecanizado frente a pieza final

La secuencia seguida es:

**1. Planeado por ambas caras (*Facing.1* y *Facing.2*):**

- a. **Estrategia de mecanizado:** Ida y vuelta con una pasada de desbaste y una de acabado.
- b. **Geometría a mecanizar:** Caras superior e inferior de la preforma, eliminando 1mm de material en cada cara.
- c. **Herramienta:** Fresa de planeado ASX400-100B10R de Mitsubishi Materials (Figura 6-28, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- d. **Parámetros de corte:** Los definidos para mecanizado de aleaciones de aluminio con la herramienta de corte elegida (Figura 6-29, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- e. **Macros:** Utilizamos los macros de aproximación, retirada y aclarado del usuario (6.4.1.7. *Macros en operaciones de mecanizado*).

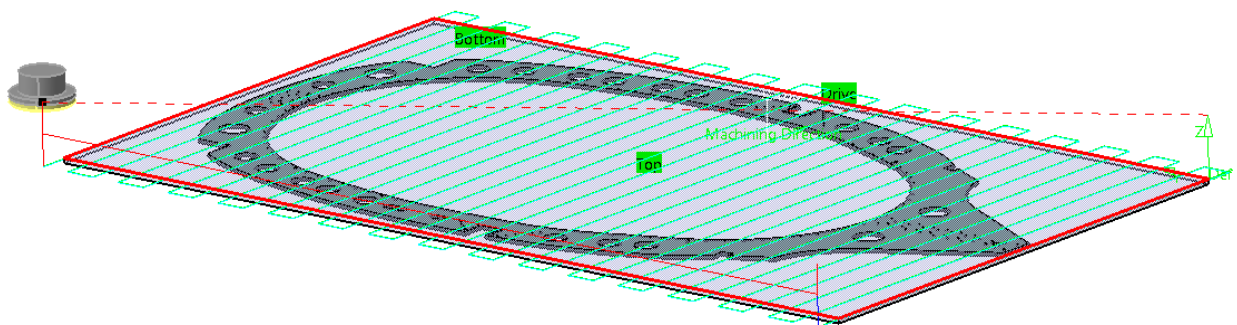


Figura 6-96. Sección 11-chapa frontal: Trayectoria de planeado

**2. Contorneado exterior (*Profile Contouring.1*):**

- a. **Estrategia de mecanizado:** Zig-zag con dos pasadas de desbaste y dos de acabado (mecanizado en dos niveles axiales).
- b. **Geometría a mecanizar:** Contorno exterior del marco metálico.
- c. **Herramienta:** Fresa periférico-frontal AM2MBR0200A060 de Mitsubishi Materials (Figura 6-36, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).

- d. **Parámetros de corte:** Los definidos para mecanizado de aleaciones de aluminio con la herramienta de corte elegida (Figura 6-37, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- e. **Macros:** Macros de aproximación y retirada del usuario (6.4.1.7. *Macros en operaciones de mecanizado*).

En las siguientes figuras se muestran la trayectoria de mecanizado y el resultado de la operación.

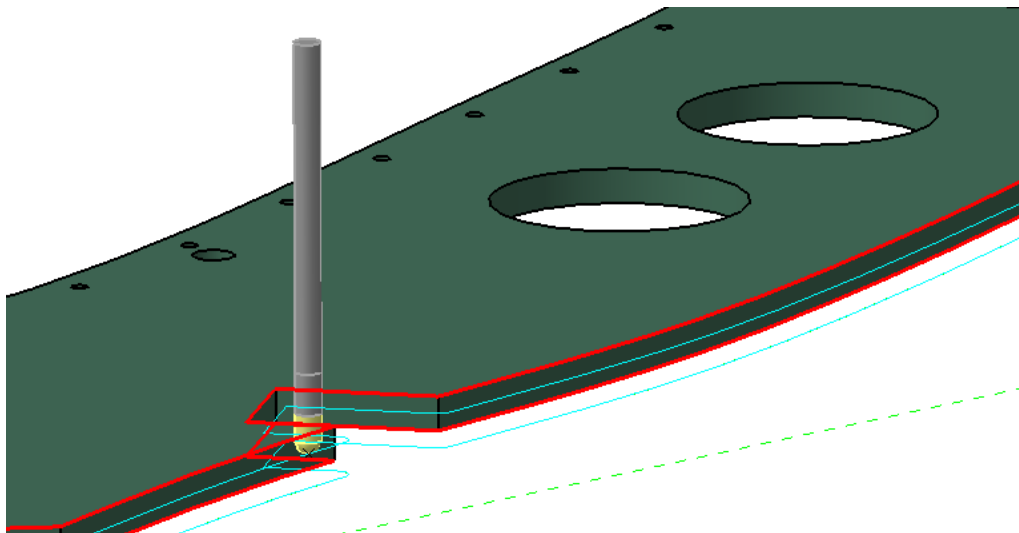


Figura 6-97. Sección 11-chapa frontal: Trayectoria de contorneado exterior

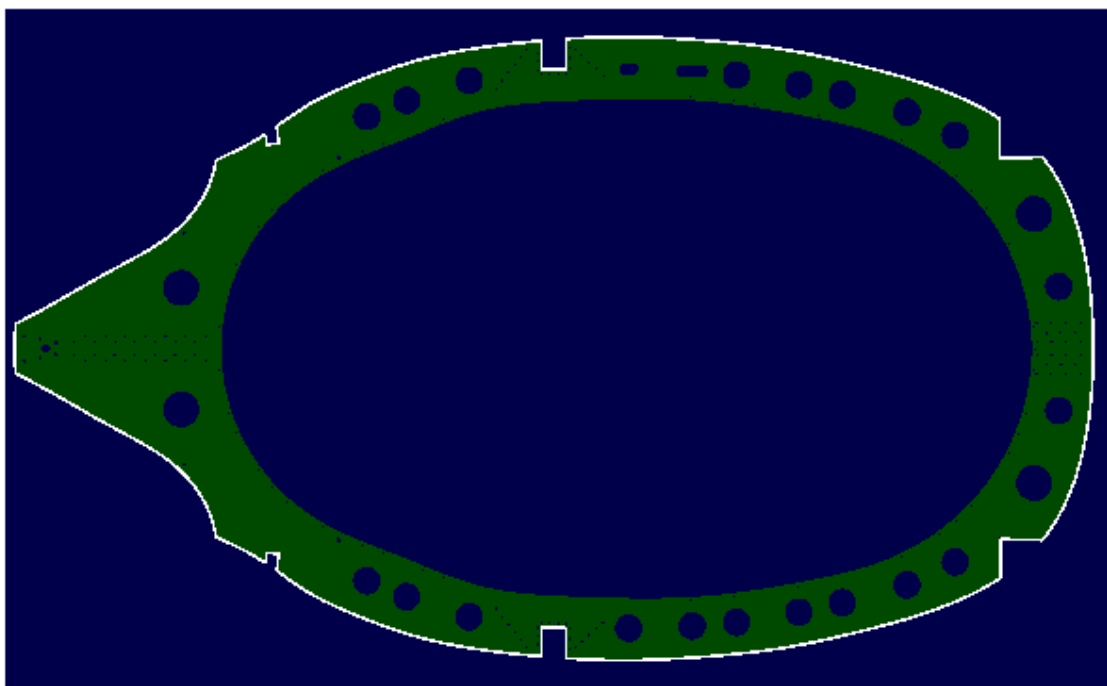


Figura 6-98. Sección 11-chapa frontal: Resultado de contorneado exterior

### 3. Contorneado interior (*Profile Contouring.2- Profile Contouring.28*):

- a. **Estrategia de mecanizado:** Zig-zag con dos pasadas de desbaste y dos de acabado (mecanizado en dos niveles axiales).
- b. **Geometría a mecanizar:** Contornos interiores del marco metálico.
- c. **Herramienta:** Fresa periférico-frontal AM2MBR0200A060 de Mitsubishi Materials (Figura 6-36, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- d. **Parámetros de corte:** Los definidos para mecanizado de aleaciones de aluminio con la herramienta de corte elegida (Figura 6-37, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).

- e. **Macros:** Macros de aproximación y retirada del usuario (6.4.1.7. *Macros en operaciones de mecanizado*).

En las siguientes figuras se muestran la trayectoria de mecanizado y el resultado de la operación.

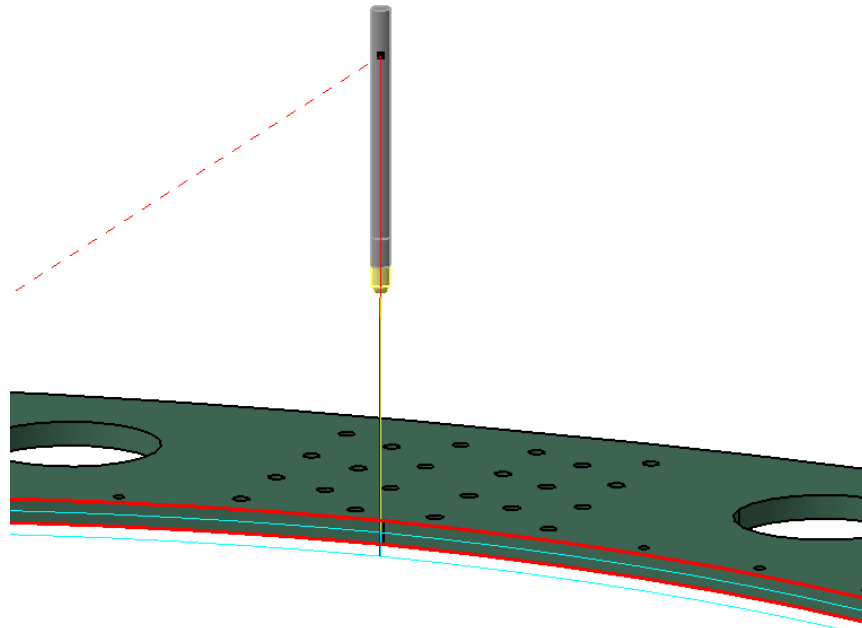


Figura 6-99. Sección 11-chapa frontal: Trayectoria de contorneado interior

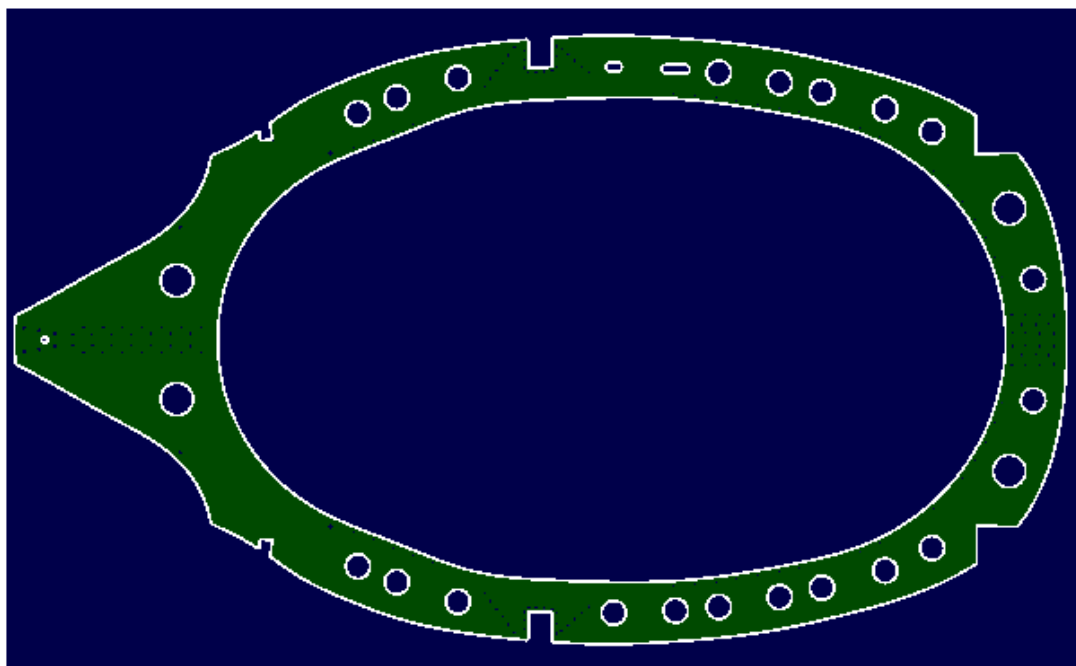


Figura 6-100. Sección 11-chapa frontal: Resultado de contorneado interior

#### 4. Taladrado y escariado (*Drilling.1- Drilling.4, Reaming.1-Reaming.3*):

- a. **Estrategia de mecanizado:** Seguimos una secuencia de taladrado que aumenta progresivamente el diámetro del agujero para asegurar la calidad del resultado y posteriormente usamos un escariador para dar buen acabado superficial. La secuencia para el mayor diámetro es: 2.5, 3.5, 5 y 6mm. Transición entre agujeros a 10mm de la pieza.
- b. **Geometría a mecanizar:** Los agujeros de diámetro 2.5, 3.5, 5 y 6mm.

- c. **Herramientas:** Utilizaremos las brocas de UNCETA A2 2297 D2.5, A2 2297 D3.5, A2 2060 D5 y A2 2060 D6 y los escariadores UNCETA A6 6260 D3.5, UNCETA A6 6260 D5 y UNCETA A6 6260 D6 (Figuras 6-42 a 6-55, apartado **6.3.3.5 Herramientas seleccionadas**).
- d. **Parámetros de corte:** Los definidos para mecanizado de aleaciones de aluminio con las herramientas de corte elegidas (Tablas 6-1 y 6-2, apartado **6.3.3.5 Herramientas seleccionadas**).
- e. **Macros:** Macros de aproximación y retirada del usuario (**6.4.1.7. Macros en operaciones de mecanizado**).

Se muestra a continuación la trayectoria de taladrado para el primer paso de la secuencia (por el que deben pasar todos los taladros independientemente de su diámetro) y el resultado obtenido al final del proceso.

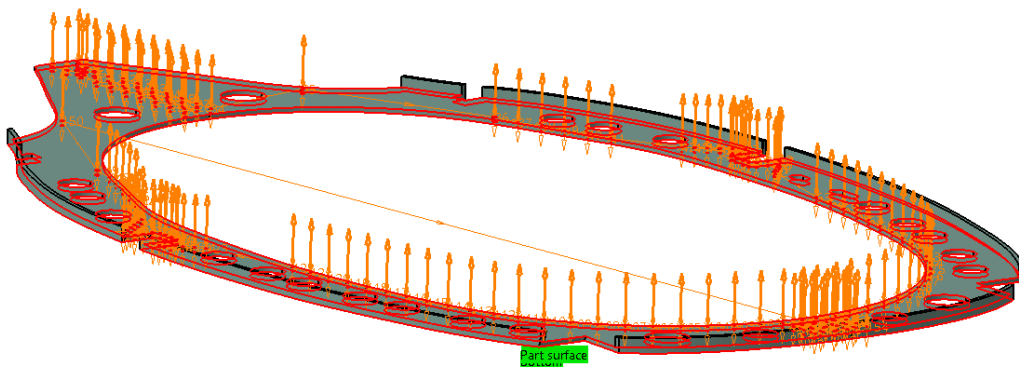


Figura 6-101. Sección 11-chapa frontal: Trayectoria de taladrado

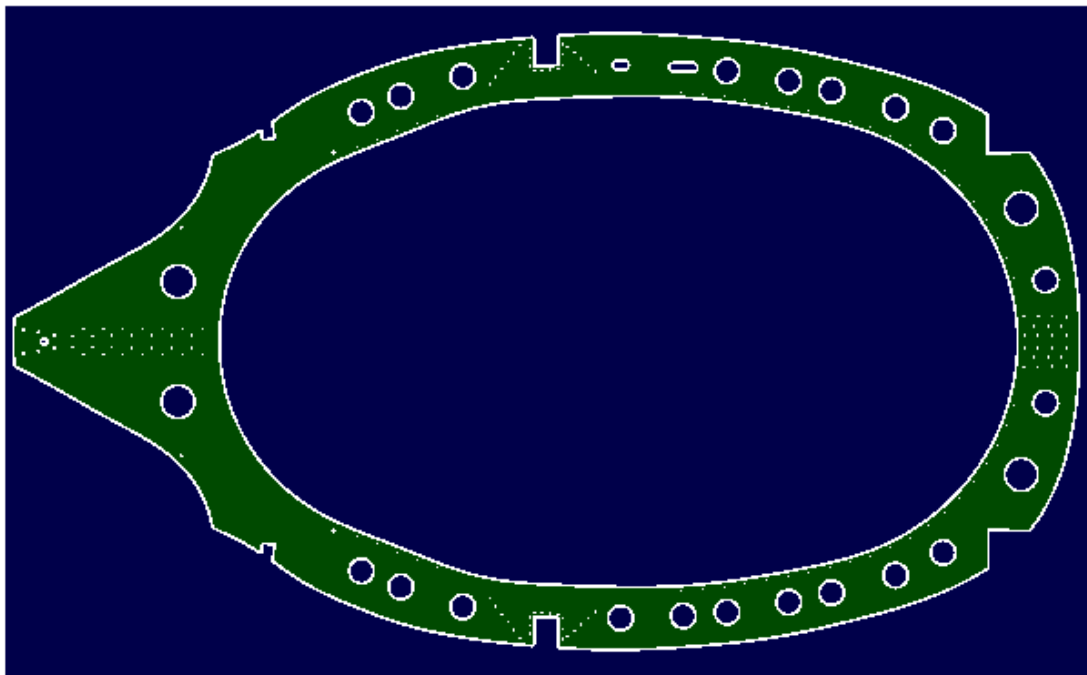


Figura 6-102. Sección 11-chapa frontal: Resultado de taladrado

Como explicábamos con anterioridad, tras finalizar los trabajos en la máquina CNC, se realizaría una operación de doblado de chapa para concluir la fabricación de una chapa frontal de la cuaderna 11.

Para finalizar lo que hemos denominado como sección 11, debemos analizar la fabricación de las chapas que soportan la unión entre las chapas anterior y posterior. Como hemos podido observar con anterioridad, las únicas diferencias entre estas seis chapas son la longitud y el doblado al que se someten (varía en función de la zona del contorno interior donde se colocan). Por tanto, nos centraremos en una de ellas para ilustrar cual es el proceso de fabricación, partiendo de una preforma de ancho 52mm, espesor 7mm y largo variable, dependiendo del caso.

1. **Planeado por ambas caras (no implementado):** En las caras superior e inferior de la preforma, eliminando 1mm de material en cada una.
2. **Doblado de chapa:** Se realizan 3 operaciones de doblado de chapa, una para adaptar la forma de la misma al contorno interior y otras dos para obtener los bordes sobre los que se taladra y remacha.
3. **Taladrado:** Se taladran los agujeros que soportan la unión remachada entre chapas. Estos agujeros tiene diámetro 2.38mm.

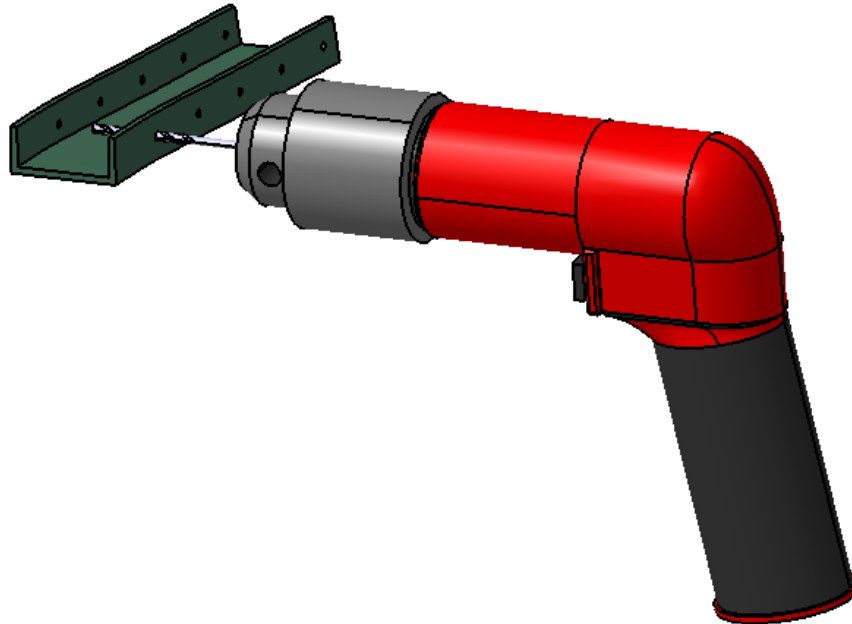


Figura 6-103. Sección 11-chapa unión: Operación de taladrado

#### 6.6.2.1.2 Refuerzo superior 11

Se trata de una chapa de aluminio de espesor 1mm que se remacha en la parte superior de la cuaderna como refuerzo de la zona de unión con el larguero superior 11-12.

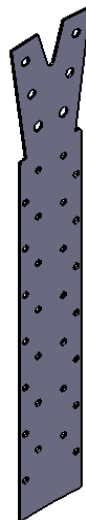


Figura 6-104. Refuerzo superior 11 modelado en CATIA

A continuación describimos las operaciones que componen el proceso de fabricación de esta pieza. Para ello contamos con una preforma de 283 x 60 x 3mm.

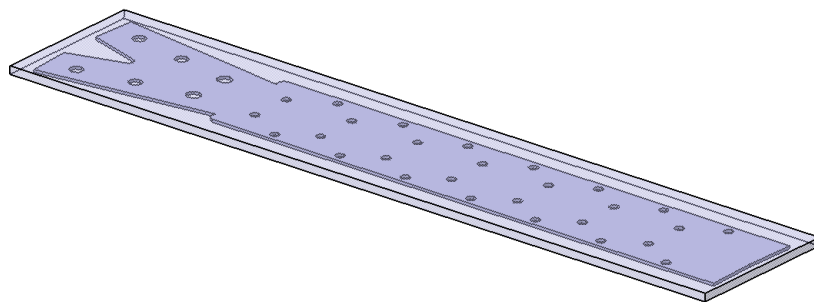


Figura 6-105. Refuerzo superior 11: Preforma

### 1. Planeado por ambas caras (*Facing.1 y Facing.2*):

- a. **Estrategia de mecanizado:** Ida y vuelta con una pasada de desbaste y una de acabado.
- b. **Geometría a mecanizar:** Caras superior e inferior de la preforma, eliminando 1mm de material en cada cara.
- c. **Herramienta:** Fresa de planeado ASX400-100B10R de Mitsubishi Materials (Figura 6-28, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- d. **Parámetros de corte:** Los definidos para mecanizado de aleaciones de aluminio con la herramienta de corte elegida (Figura 6-29, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- e. **Macros:** Utilizamos las macros de aproximación, retirada y aclarado del usuario (6.4.1.7. *Macros en operaciones de mecanizado*).

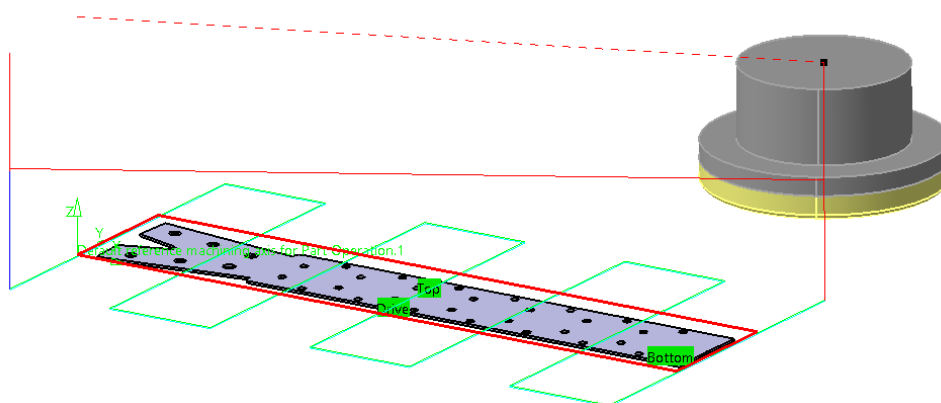


Figura 6-106. Refuerzo superior 11: Trayectoria de planeado

### 2. Contorneado (*Profile Contouring.1*):

- a. **Estrategia de mecanizado:** Zig-zag con una pasada de desbaste y una de acabado.
- b. **Geometría a mecanizar:** Contorno exterior.
- c. **Herramienta:** Fresa periférico-frontal AM2MBR0100A060 de Mitsubishi Materials (Figura 6-38, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- d. **Parámetros de corte:** Los definidos para mecanizado de aleaciones de aluminio con la herramienta de corte elegida (Figura 6-39, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- e. **Macros:** Macros de aproximación y retirada del usuario (6.4.1.7. *Macros en operaciones de mecanizado*).

En las siguientes figuras se muestran la trayectoria de mecanizado y el resultado de la operación.



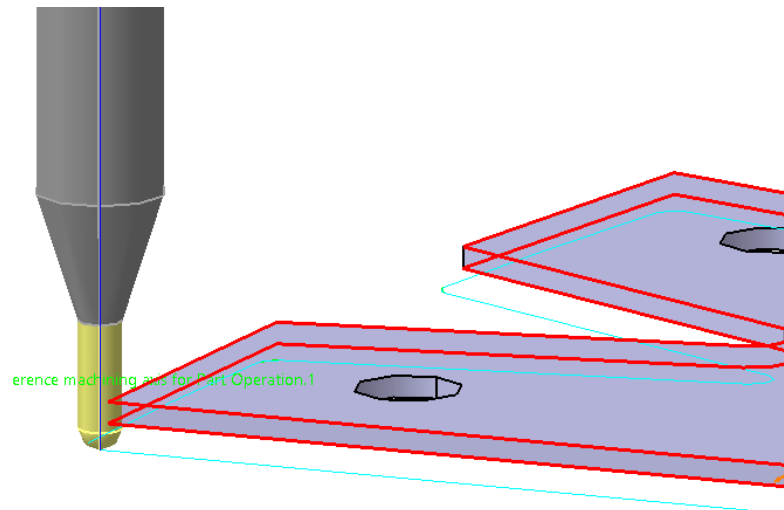


Figura 6-107. Refuerzo superior 11: Trayectoria de contorneado

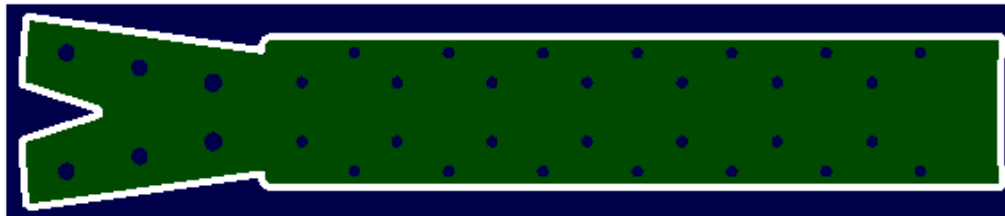


Figura 6-108. Refuerzo superior 11: Resultado de contorneado

### 3. Taladrado (*Drilling.1- Drilling.3*):

- a. **Estrategia de mecanizado:** Seguimos una secuencia de taladrado que aumenta progresivamente el diámetro del agujero para asegurar la calidad del resultado. La secuencia para el mayor diámetro es: 2.5, 3.5 y 5mm. Transición entre agujeros a 10mm de la pieza.
- b. **Geometría a mecanizar:** Los agujeros de diámetro 3.5 y 5mm.
- c. **Herramientas:** Utilizaremos las brocas de UNCETA A2 2297 D2.5, A2 2297 D3.5 y A2 2060 D5 (Figuras 6-42 a 6-50, apartado **6.3.3.5 Herramientas seleccionadas**).
- d. **Parámetros de corte:** Los definidos para mecanizado de aleaciones de aluminio con las herramientas de corte elegidas (Tabla 6-1, apartado **6.3.3.5 Herramientas seleccionadas**).
- e. **Macros:** Macros de aproximación y retirada del usuario (**6.4.1.7. Macros en operaciones de mecanizado**).

Se muestra a continuación la trayectoria de taladrado para el primer paso de la secuencia (por el que deben pasar todos los taladros independientemente de su diámetro) y el resultado obtenido al final del proceso.

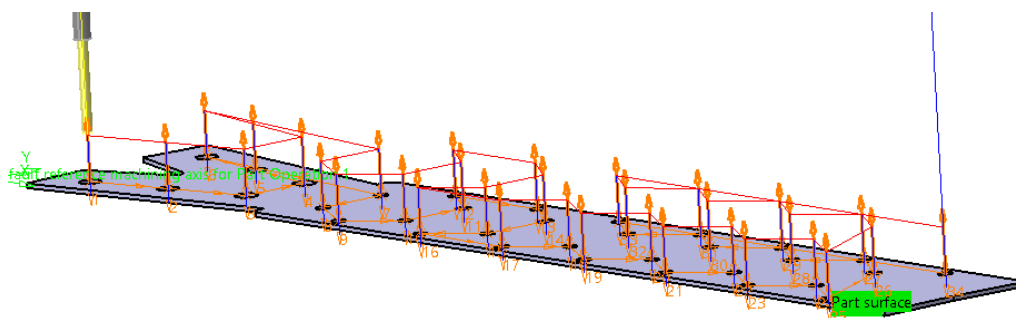


Figura 6-109. Refuerzo superior 11: Trayectoria de taladrado

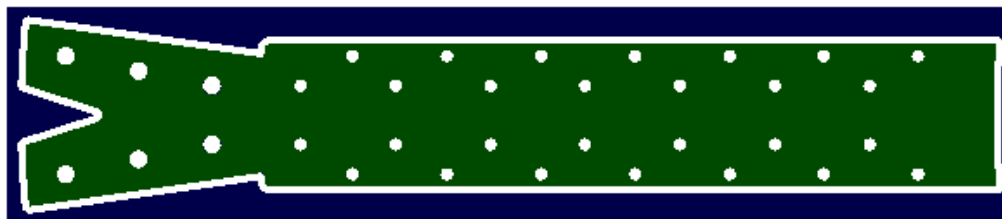


Figura 6-110. Refuerzo superior 11: Resultado de taladrado

#### 6.6.2.1.3 Refuerzo lateral 11

Se trata de una chapa de aluminio de espesor 1mm que se remacha en la parte lateral de la cuaderna y sirve como soporte para la barra horizontal y las diagonales. En total son cuatro unidades.

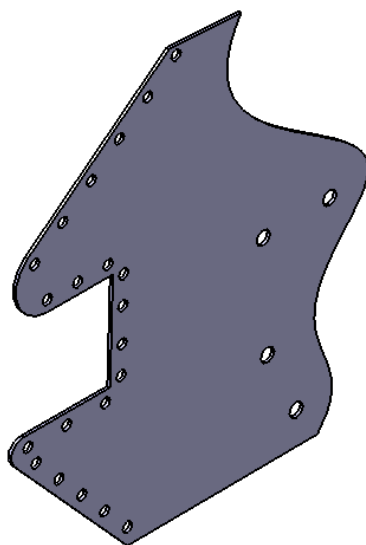


Figura 6-111. Refuerzo lateral 11 modelado en CATIA

Para más información del proceso de fabricación véase el **apartado 6.6.2.1.2 Refuerzo superior 11.**

#### 6.6.2.1.4 Refuerzo inferior 11

Se trata de una chapa de aluminio de espesor 1mm que se remacha en la parte inferior de la cuaderna y sirve como soporte para las barras diagonales. Dos unidades en total.

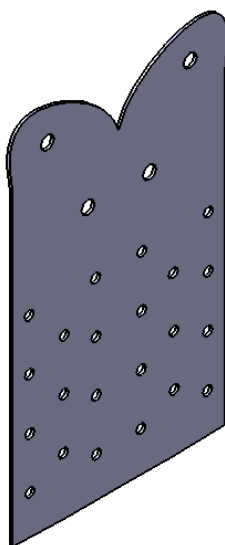


Figura 6-112. Refuerzo inferior 11 modelado en CATIA

Para más información del proceso de fabricación véase el **apartado 6.6.2.1.2 Refuerzo superior 11.**

#### 6.6.2.1.5 Barra horizontal 11 (rediseñada)

Esta barra se usa como refuerzo estructural y para soportar el asiento y sus elementos asociados. Hemos decidido llevar a cabo un trabajo de rediseño sobre este componente. De esta manera pasará de ser una barra maciza de perfil cuadrado a un perfil hueco de espesor 4mm, aligerando con ello el peso.

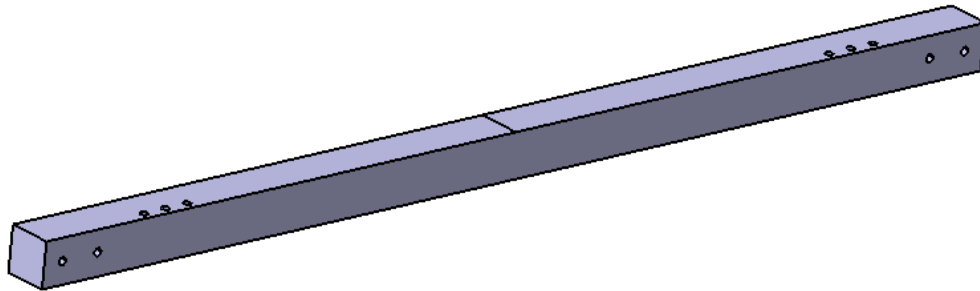


Figura 6-113. Barra horizontal 11: Diseño erróneo

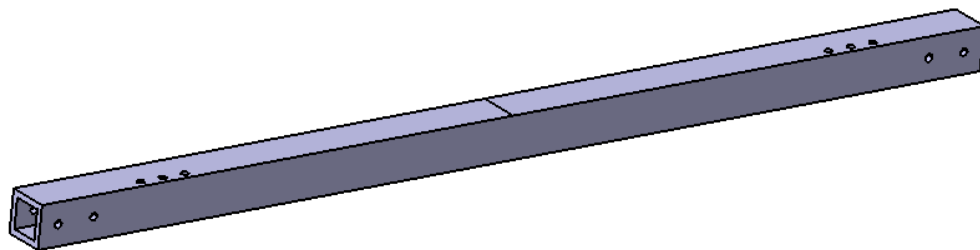


Figura 6-114. Barra horizontal 11 rediseñada en CATIA

Para realizar esta corrección en el diseño simplemente debemos añadir la operación *Shell.1* especificando un espesor de 4mm, o bien, modificar las propiedades de la operación de extrusión (*Pad*) correspondiente especificando el espesor que corresponda. Obtenemos una barra con perfil cuadrado de lado 27mm y longitud 325mm.

Al tratarse de un componente comercial, lo encargamos a un proveedor especializado. No obstante, el proceso de fabricación de un componente de estas características podría ser el que sigue:

1. **Laminación:** Obtenemos una barra que servirá de preforma para la obtención del tubo cuadrado.
2. **Extrusión:** Se hace pasar la barra anteriormente obtenida por una matriz o hilera de perfil hueco con la forma del tubo en cuestión.
3. **Taladrado (*Drilling.1-Drilling.4*):**
  - a. **Estrategia de mecanizado:** Utilizamos las secuencias de taladrado 2.5-3.5-5mm. Como las herramientas de corte no tienen la longitud de corte suficiente para perforar todo el tubo, hacemos los agujeros de una cara, giramos la pieza y hacemos los de la otra (así para cada una de las cuatro caras perforadas). No realizamos operaciones de escariado, puesto que en esta pieza no tiene demasiada importancia el acabado superficial. Transición entre agujeros a 10mm de la pieza.
  - b. **Geometría a mecanizar:** Los agujeros de diámetro 5mm.
  - c. **Herramientas:** Tomamos como referencia las brocas A2 2297 D2.5, A2 2297 D3.5, A2 2060 D5 de UNCETA (Figuras 6-42 a 6-50, apartado **6.3.3.5 Herramientas seleccionadas**).
  - d. **Parámetros de corte:** Los definidos para mecanizado de aleaciones de aluminio con la herramienta de corte elegida (Tabla 6-1, apartado **6.3.3.5 Herramientas seleccionadas**).
  - e. **Macros:** Macros de aproximación, retirada y aclarado del usuario (**6.4.1.7. Macros en operaciones de mecanizado**).



Figura 6-115. Barra horizontal 11: Resultado de taladrado

#### 6.6.2.1.6 Barra diagonal 11 (rediseñada)

Tiene la misma finalidad que la barra horizontal y se somete al mismo proceso de rediseño, obteniendo el resultado que se muestra en la imagen:

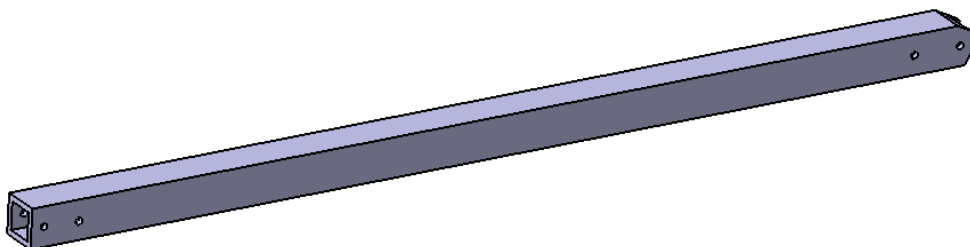


Figura 6-116. Barra diagonal 11 rediseñada en CATIA

Para más información del proceso de fabricación véase el *apartado 6.6.2.1.5 Barra horizontal 11*.

#### 6.6.2.1.7 Placa armadura para la cabeza 11 (Head armour 11)

Como su nombre indica, la finalidad de esta placa es la protección de la cabeza del piloto ante posibles impactos de artillería enemiga. Esta placa tiene de dimensiones máximas 575 x 416mm, siendo su espesor 6mm.

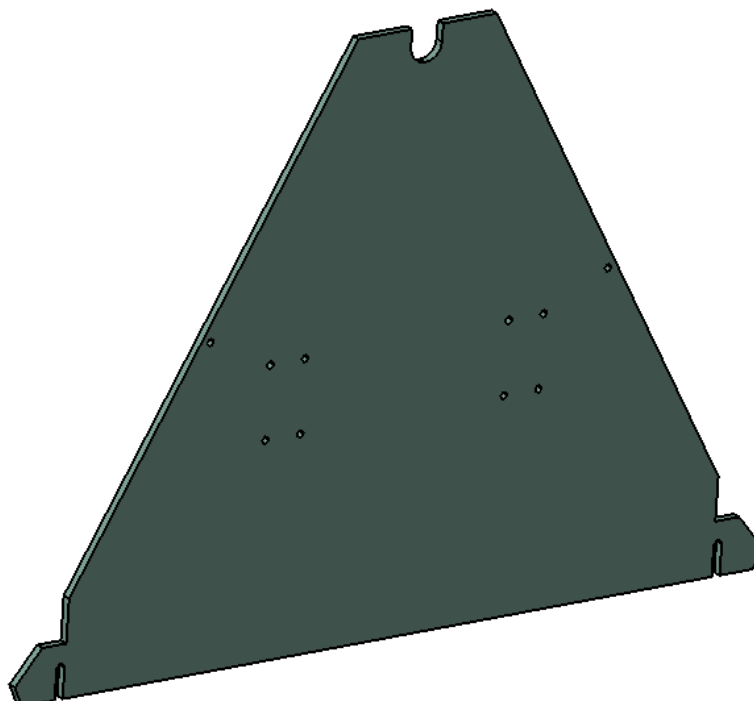


Figura 6-117. Head armour 11 modelada en CATIA

A continuación exponemos el proceso de fabricación de este elemento, a partir de una preforma con dimensiones 585 x 425 x 8mm.

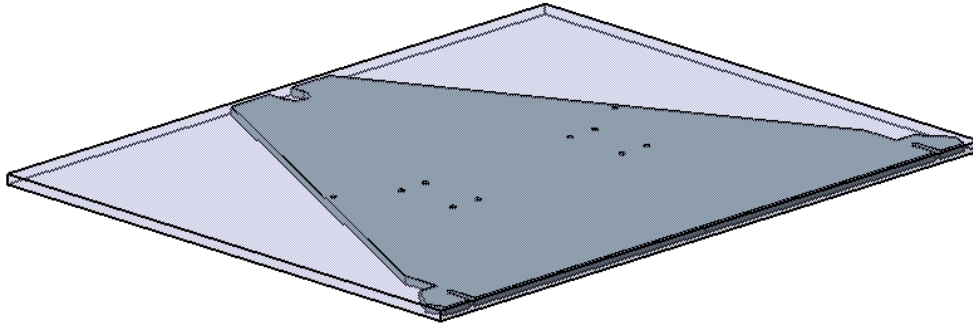


Figura 6-118. Head armour 11: Preforma

### 1. Planeado por ambas caras (*Facing.1 y Facing.2*):

- a. **Estrategia de mecanizado:** Ida y vuelta con una pasada de desbaste y una de acabado.
- b. **Geometría a mecanizar:** Caras superior e inferior de la preforma, eliminando 1mm de material en cada cara.
- c. **Herramienta:** Fresa de planeado ASX400-100B10R de Mitsubishi Materials (Figura 6-28, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- d. **Parámetros de corte:** Los definidos para mecanizado de aleaciones de aluminio con la herramienta de corte elegida (Figura 6-29, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- e. **Macros:** Utilizamos los macros de aproximación, retirada y aclarado del usuario (6.4.1.7. *Macros en operaciones de mecanizado*).

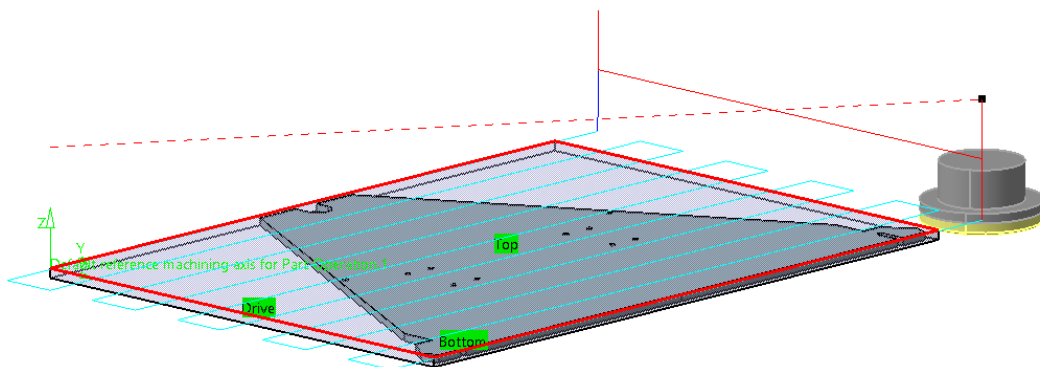


Figura 6-119. Head armour 11: Trayectoria de planeado

### 2. Contorneado (*Profile Contouring.1*):

- a. **Estrategia de mecanizado:** Zig-zag con dos pasadas de desbaste y dos de acabado (mecanizado en dos niveles axiales).
- b. **Geometría a mecanizar:** Contorno exterior.
- c. **Herramienta:** Fresa periférico-frontal AM2MBR0200A060 de Mitsubishi Materials (Figura 6-36, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- d. **Parámetros de corte:** Los definidos para mecanizado de aleaciones de aluminio con la herramienta de corte elegida (Figura 6-37, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- e. **Macros:** Macros de aproximación y retirada del usuario (6.4.1.7. *Macros en operaciones de mecanizado*).

En las siguientes figuras se muestran la trayectoria de mecanizado y el resultado de la operación.

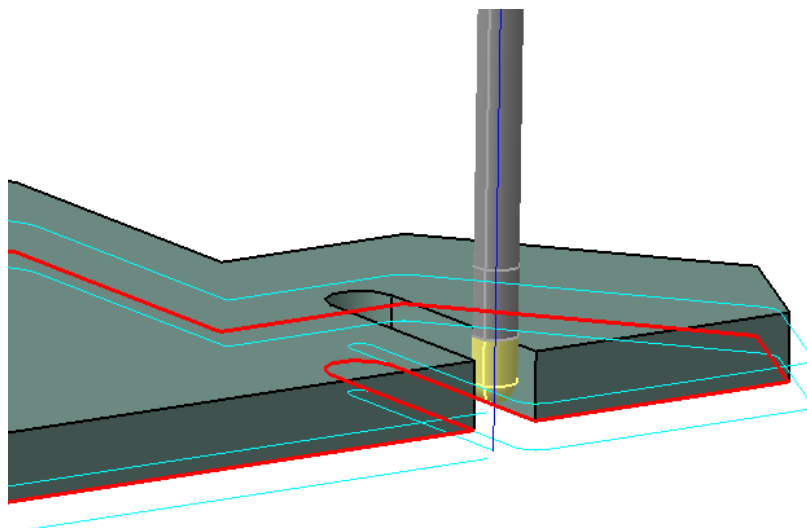


Figura 6-120. *Head armour* 11: Trayectoria de contorneado

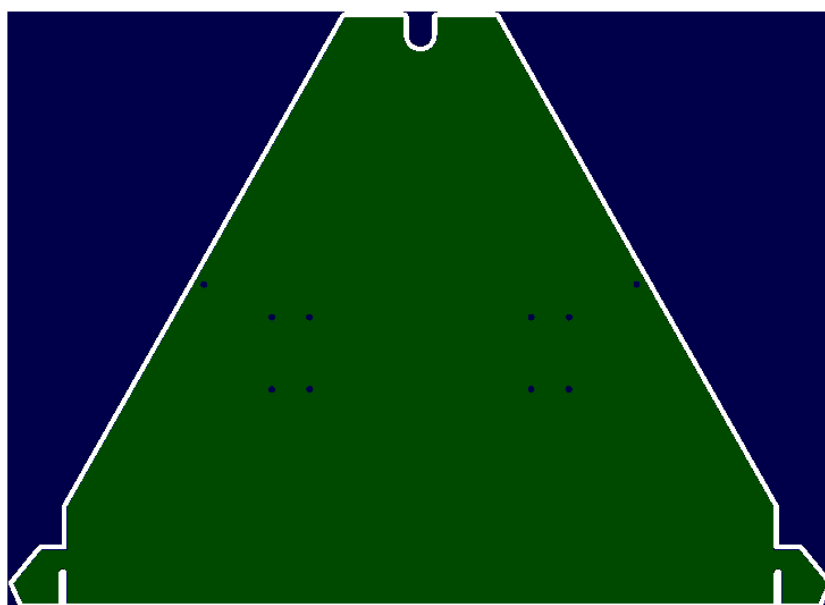
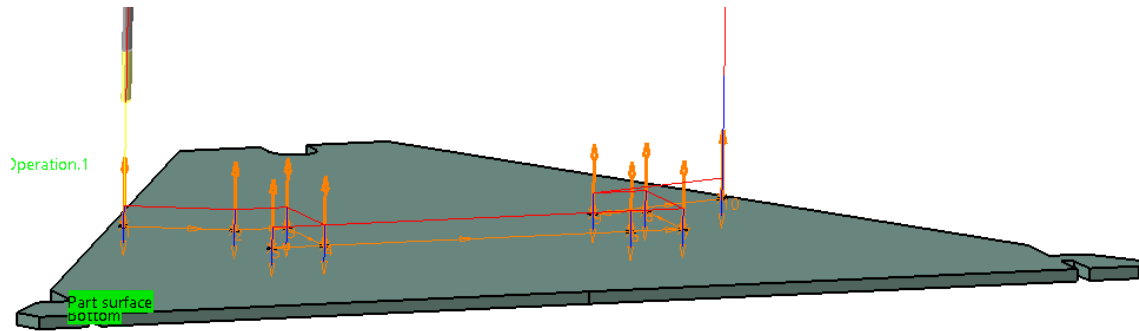
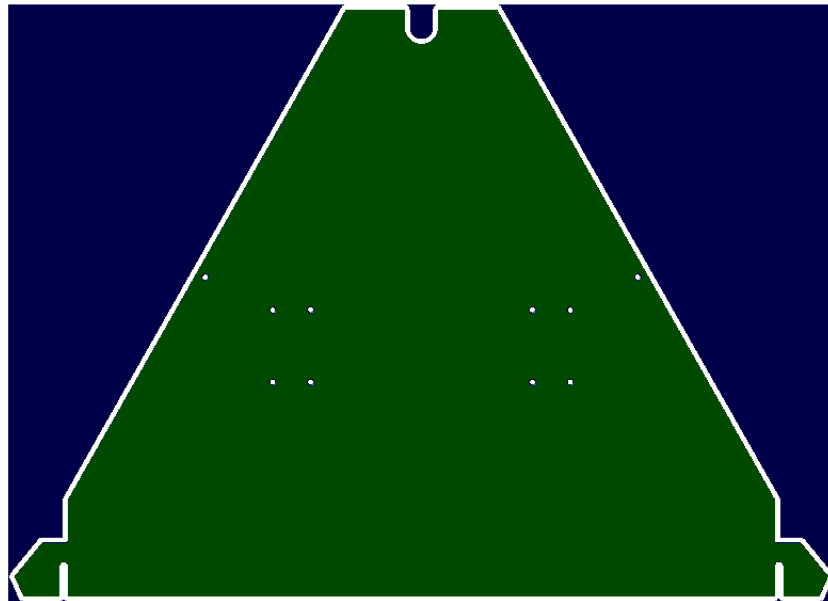


Figura 6-121. *Head armour* 11: Resultado de contorneado

Para mejorar el resultado de esta operación, podríamos realizar operaciones de retrabajado de esquinas con herramientas destinadas a ello.

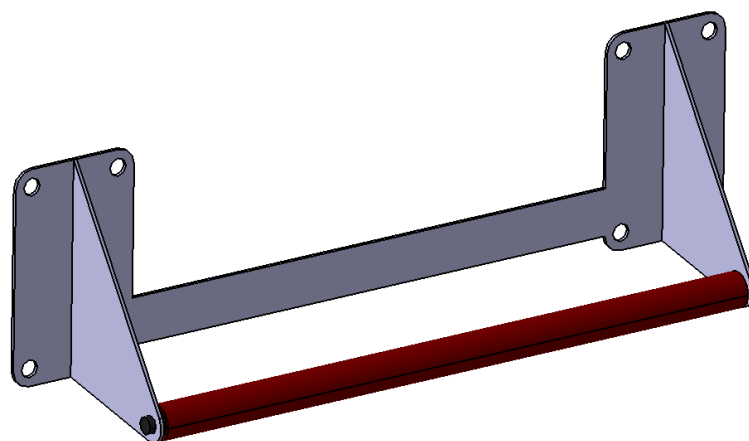
### 3. Taladrado (*Drilling.1- Drilling.3*):

- a. **Estrategia de mecanizado:** Seguimos una secuencia de taladrado que aumenta progresivamente el diámetro del agujero para asegurar la calidad del resultado. La secuencia para el mayor diámetro es: 2.5, 3.5 y 5mm. Transición entre agujeros a 10mm de la pieza.
- b. **Geometría a mecanizar:** Los agujeros de diámetro 5mm.
- c. **Herramientas:** Utilizaremos las brocas de UNCETA A2 2297 D2.5, A2 2297 D3.5 y A2 2060 D5 (Figuras 6-42 a 6-50, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- d. **Parámetros de corte:** Los definidos para mecanizado de aleaciones de aluminio con las herramientas de corte elegidas (Tabla 6-1, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- e. **Macros:** Macros de aproximación y retirada del usuario (6.4.1.7. *Macros en operaciones de mecanizado*).

Figura 6-122. *Head armour 11*: Trayectoria de taladradoFigura 6-123. *Head armour 11*: Resultado de taladrado

#### 6.6.2.1.8 Agarre para el cinturón de seguridad 11 (Shoulder belt seat roller 11)

Como su nombre indica, este elemento se utiliza para colocar sobre él el cinturón de seguridad del piloto.

Figura 6-124. *Shoulder belt seat roller 11* modelado en CATIA

Para obtener este elemento debemos seguir la siguiente secuencia, partiendo de las preformas 1 y 2 de dimensiones 71 x 230 x 3mm y 76 x 53 x 1.5mm, respectivamente.

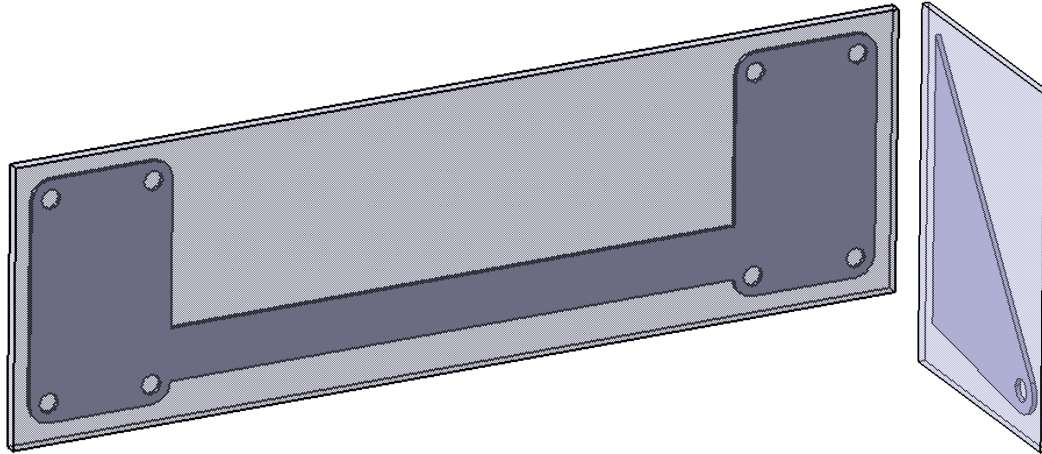


Figura 6-125. *Shoulder belt seat roller 11*: Preformas

**1. Planeado por ambas caras (*Facing.1* y *Facing.2*):**

- a. **Estrategia de mecanizado:** Ida y vuelta con una pasada de desbaste y una de acabado.
- b. **Geometría a mecanizar:** Caras superior e inferior de las preformas eliminando 1mm de material en cada cara para la parte 1 y 0.5mm de material en cada cara para la parte 2.
- c. **Herramienta:** Fresa de planeado ASX400-100B10R de Mitsubishi Materials (Figura 6-28, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- d. **Parámetros de corte:** Los definidos para mecanizado de aleaciones de aluminio con la herramienta de corte elegida (Figura 6-29, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- e. **Macros:** Utilizamos las macros de aproximación, retirada y aclarado del usuario (6.4.1.7. *Macros en operaciones de mecanizado*).

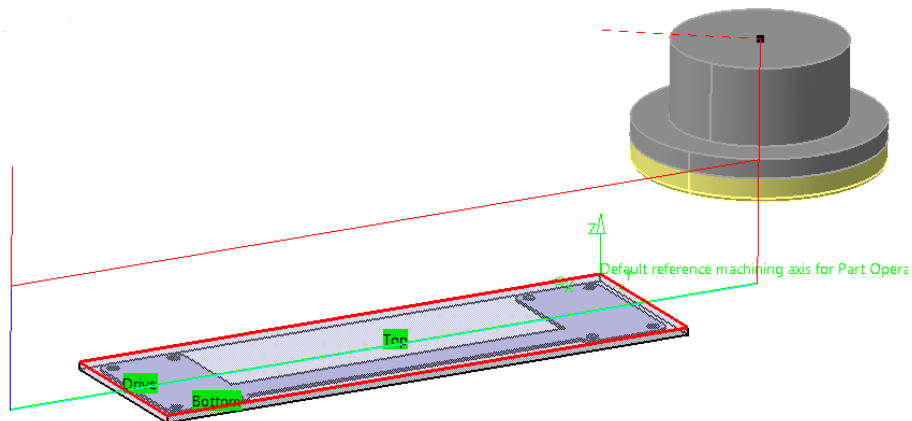


Figura 6-126. *Shoulder belt seat roller 11*-parte 1: Trayectoria de planeado

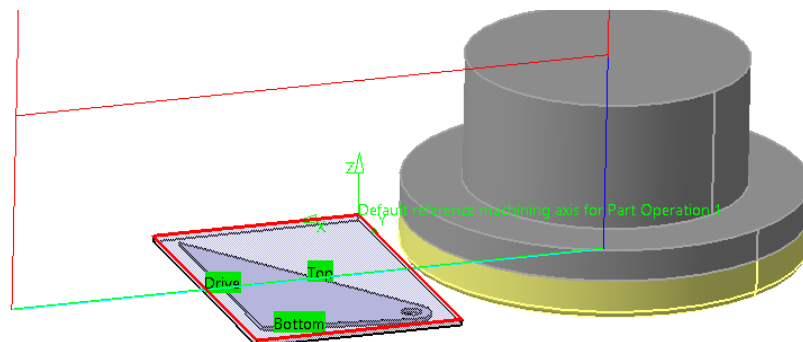


Figura 6-127. *Shoulder belt seat roller 11*-parte 2: Trayectoria de planeado



## 2. Contorneado (*Profile Contouring.1*):

- a. **Estrategia de mecanizado:** Zig-zag con una pasada de desbaste y una de acabado.
- b. **Geometría a mecanizar:** Contorno exterior de ambas partes.
- c. **Herramienta:** Fresa periférico-frontal AM2MBR0100A060 de Mitsubishi Materials (Figura 6-38, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- d. **Parámetros de corte:** Los definidos para mecanizado de aleaciones de aluminio con la herramienta de corte elegida (Figura 6-39, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- e. **Macros:** Macros de aproximación y retirada del usuario (6.4.1.7. *Macros en operaciones de mecanizado*).

En las siguientes figuras se muestran la trayectoria de mecanizado y el resultado de la operación.

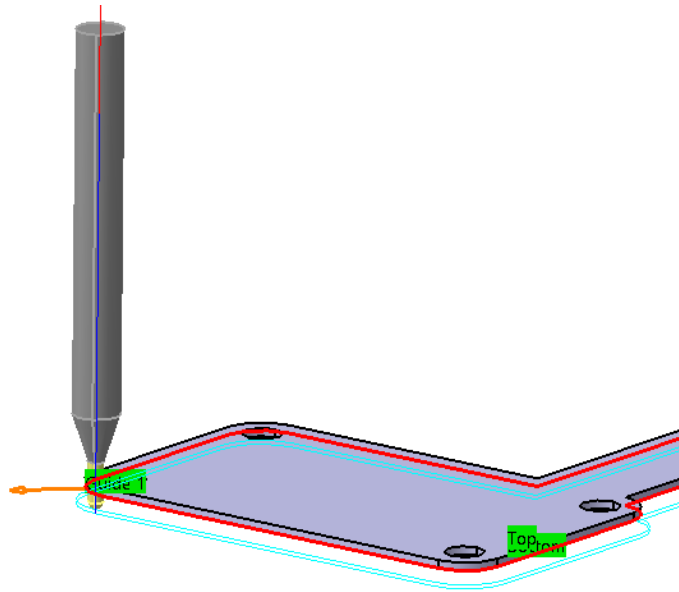


Figura 6-128. *Shoulder belt seat roller 11*-parte 1: Trayectoria de contorneado

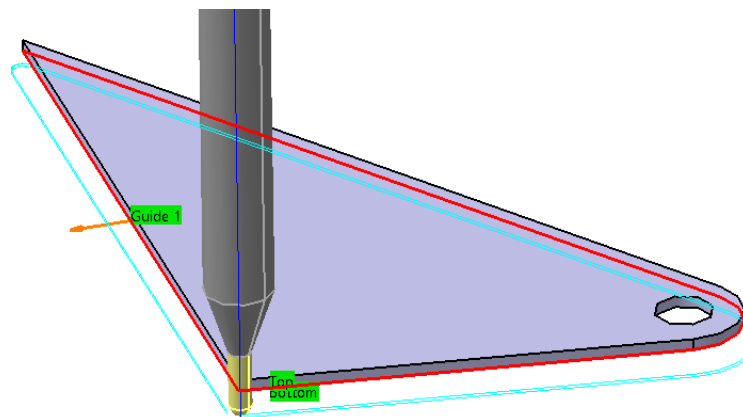


Figura 6-129. *Shoulder belt seat roller 11*-parte 2: Trayectoria de contorneado



Figura 6-130. *Shoulder belt seat roller 11*-parte 1: Resultado de contorneado



Figura 6-131. *Shoulder belt seat roller 11*-parte 2: Resultado de contorneado

### 3. Taladrado (*Drilling.1- Drilling.3*):

- a. **Estrategia de mecanizado:** Seguimos una secuencia de taladrado que aumenta progresivamente el diámetro del agujero para asegurar la calidad del resultado. La secuencia para el mayor diámetro es: 2.5, 3.5 y 5mm. Transición entre agujeros a 10mm de la pieza.
- b. **Geometría a mecanizar:** Los agujeros de diámetro 5mm.
- c. **Herramientas:** Utilizaremos las brocas de UNCETA A2 2297 D2.5, A2 2297 D3.5 y A2 2060 D5 (Figuras 6-42 a 6-50, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- d. **Parámetros de corte:** Los definidos para mecanizado de aleaciones de aluminio con las herramientas de corte elegidas (Tabla 6-1, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- e. **Macros:** Macros de aproximación y retirada del usuario (6.4.1.7. *Macros en operaciones de mecanizado*).

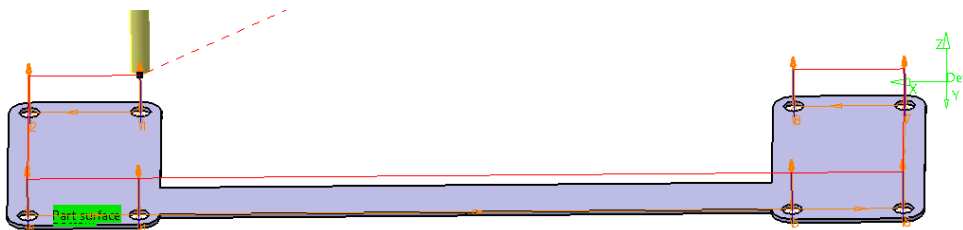


Figura 6-132. *Shoulder belt seat roller 11*-parte 1: Trayectoria de taladrado



Figura 6-133. *Shoulder belt seat roller* 11-parte 1: Resultado de taladrado



Figura 6-134. *Shoulder belt seat roller* 11-parte 2: Resultado de taladrado

4. **Soldadura:** Se unen por soldadura las partes 1 y 2 (dos unidades de la parte 2). Obtenemos el siguiente resultado:

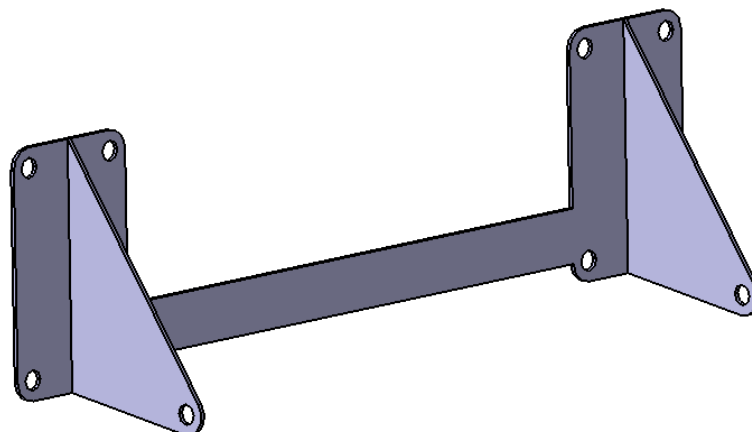


Figura 6-135. *Shoulder belt seat roller* 11: Resultado de soldadura

Por último añadimos un elemento comercial sobre el que se apoya el cinturón. Este elemento debe girar libremente permitiendo la extensión y retracción por rodadura del cinturón.

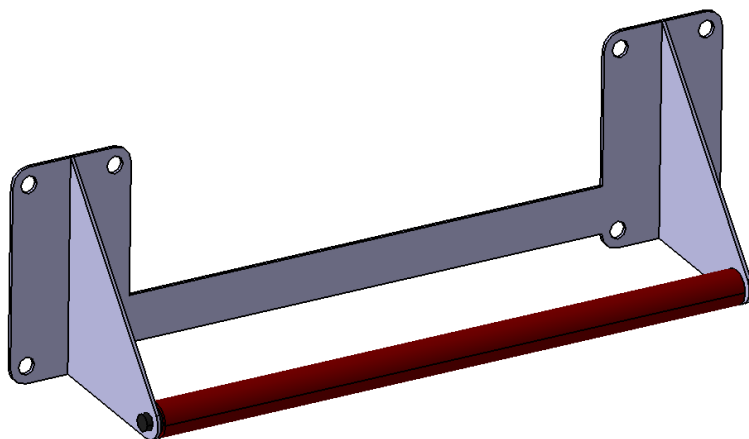


Figura 6-136. *Shoulder belt seat roller* 11: Resultado final

#### 6.6.2.1.9 Estructura de sujeción del asiento 11 (Seat mounting frame 11)

Como su nombre indica, este elemento sirve para la sujeción del asiento, incluyendo un sistema para regular la posición del mismo.

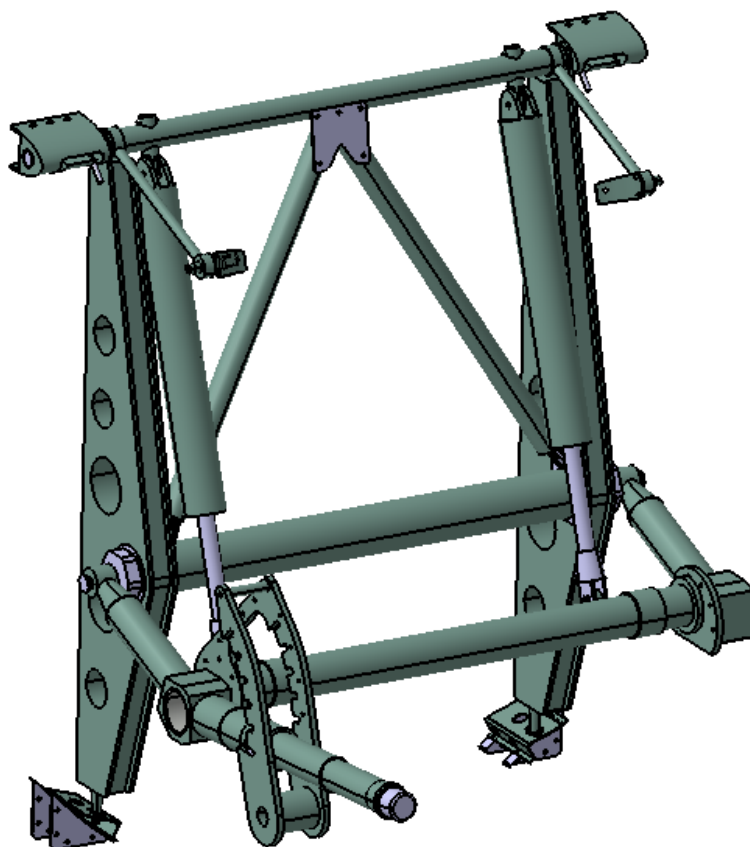


Figura 6-137. *Seat mounting frame* 11 modelado en CATIA

A continuación analizaremos cada componente por separado, especificando el modo en que se obtendrían.

##### 6.6.2.1.9.1 Parte principal

Se tiene una a cada lado de la estructura, tratándose de una parte esencial para el correcto funcionamiento de la misma. Su importancia recae en el hecho de que es el elemento que aporta mayor rigidez y a su vez, sobre el que se acoplan otros elementos como barras, sujeciones o brazos oscilantes.

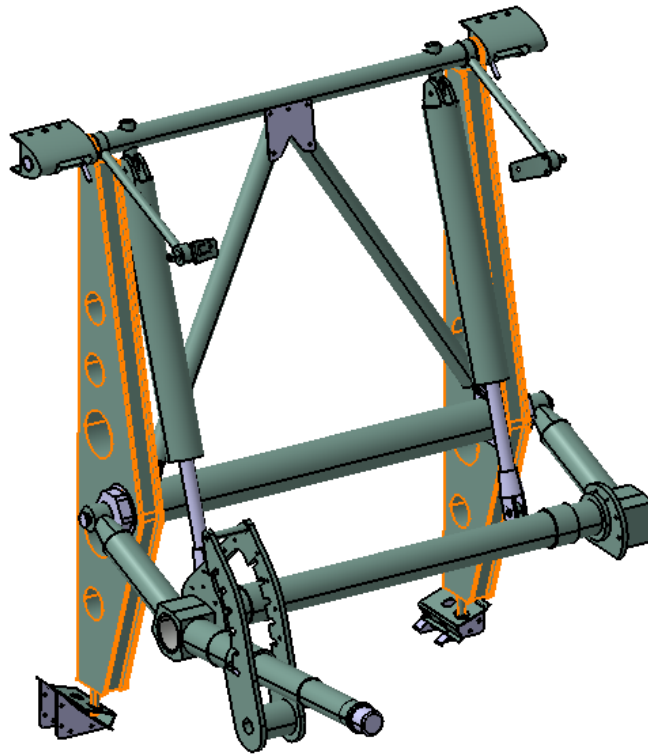


Figura 6-138. *Seat mounting frame 11*: Parte principal en el entorno del sistema

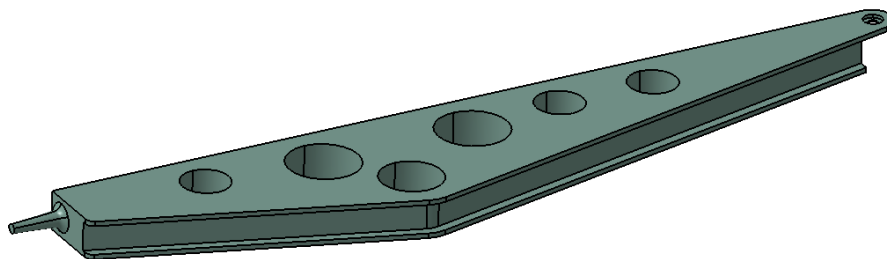


Figura 6-139. *Seat mounting frame 11*: Parte principal modelada en CATIA

A continuación describimos la secuencia de operaciones seguida en la fabricación del elemento, partiendo de una preforma de dimensiones 558 x 125 x 26.2 mm.

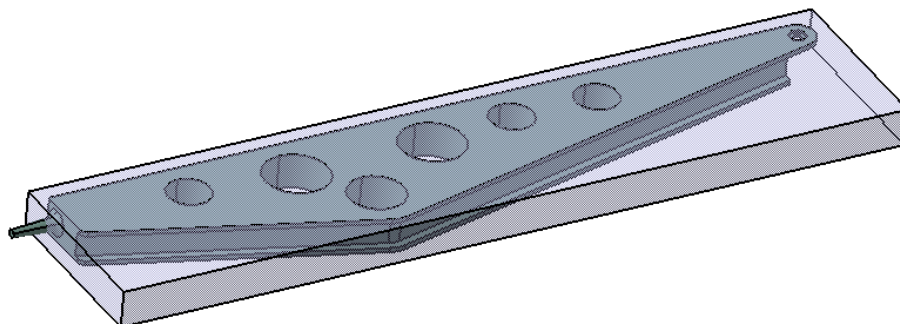


Figura 6-140. *Seat mounting frame 11*-parte principal: Preforma

#### 1. Planeado por ambas caras (*Facing.1* y *Facing.2*):

- a. **Estrategia de mecanizado:** Ida y vuelta con una pasada de desbaste y una de acabado.
- b. **Geometría a mecanizar:** Caras superior e inferior de las preforma eliminando 1mm de material en cada cara.
- c. **Herramienta:** Fresa de planeado ASX400-100B10R de Mitsubishi Materials (Figura 6-28, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).

- d. **Parámetros de corte:** Los definidos para mecanizado de aleaciones de aluminio con la herramienta de corte elegida (Figura 6-29, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- e. **Macros:** Utilizamos los macros de aproximación, retirada y aclarado del usuario (6.4.1.7. *Macros en operaciones de mecanizado*).

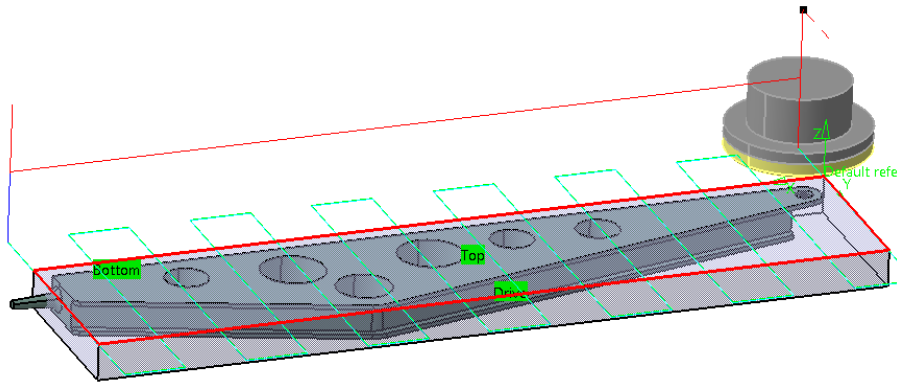


Figura 6-141. *Seat mounting frame* 11-parte principal: Trayectoria de planeado

## 2. Contorneado exterior (*Profile Contouring.1*):

- a. **Estrategia de mecanizado:** Zig-zag con dos pasadas de desbaste y dos de acabado (mecanizado en dos niveles axiales).
- b. **Geometría a mecanizar:** Contorno exterior.
- c. **Herramienta:** Fresa periférico-frontal VQJHVD1200 de Mitsubishi Materials (Figura 6-32, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- d. **Parámetros de corte:** Los definidos para mecanizado de aleaciones de aluminio con la herramienta de corte elegida (Figura 6-33, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- e. **Macros:** Macros de aproximación y retirada del usuario (6.4.1.7. *Macros en operaciones de mecanizado*).

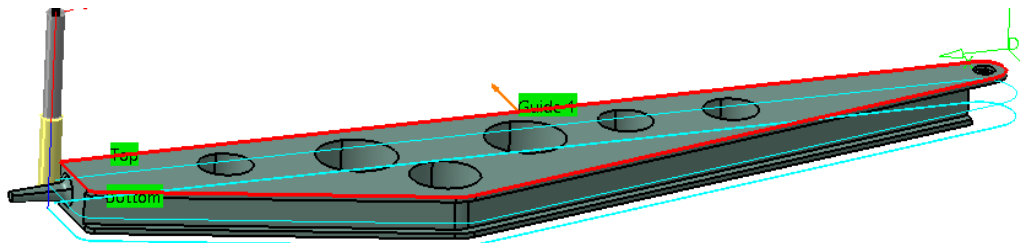


Figura 6-142. *Seat mounting frame* 11-parte principal: Trayectoria de contorneado exterior



Figura 6-143. *Seat mounting frame* 11-parte principal: Resultado de contorneado exterior

## 3. Contorneado interior (*Profile Contouring.2- Profile Contouring.7*):

- a. **Estrategia de mecanizado:** Zig-zag con una pasada de desbaste y una de acabado.
- b. **Geometría a mecanizar:** Contornos interiores.
- c. **Herramienta:** Fresa periférico-frontal VQJHVD1200 de Mitsubishi Materials (Figura 6-32, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).

- d. **Parámetros de corte:** Los definidos para mecanizado de aleaciones de aluminio con la herramienta de corte elegida (Figura 6-33, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- e. **Macros:** Macros de aproximación y retirada del usuario (6.4.1.7. *Macros en operaciones de mecanizado*).

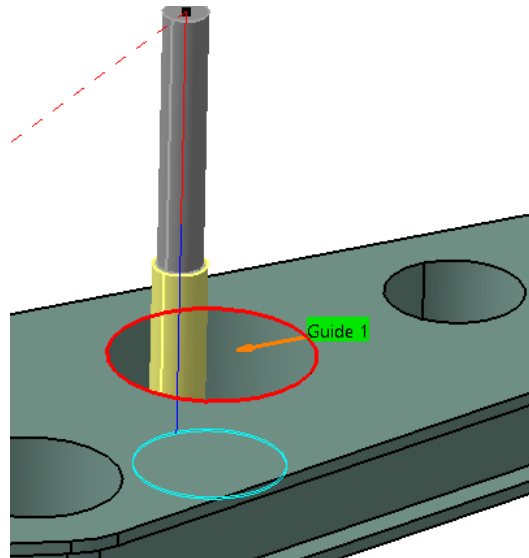


Figura 6-144. *Seat mounting frame* 11-parte principal: Trayectoria de contorneado interior

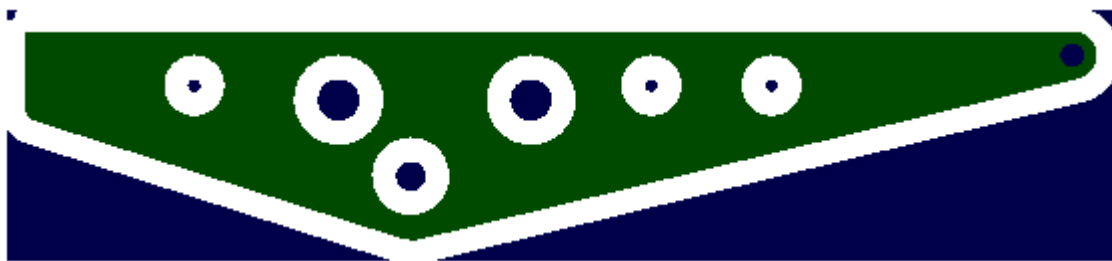


Figura 6-145. *Seat mounting frame* 11-parte principal: Resultado de contorneado interior

#### 4. Vaciado (*Pocketing.1, Pocketing.2*):

- a. **Estrategia de mecanizado:** Zig-zag con una pasada de desbaste y una de acabado.
- b. **Geometría a mecanizar:** Ranuras laterales.
- c. **Herramienta:** Fresa periférico-frontal VQJHVD1200 de Mitsubishi Materials (Figura 6-32, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- d. **Parámetros de corte:** Los definidos para mecanizado de aleaciones de aluminio con la herramienta de corte elegida (Figura 6-33, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- e. **Macros:** Macros de aproximación y retirada del usuario (6.4.1.7. *Macros en operaciones de mecanizado*).

En las siguientes figuras se muestran la trayectoria de mecanizado y el resultado de la operación.

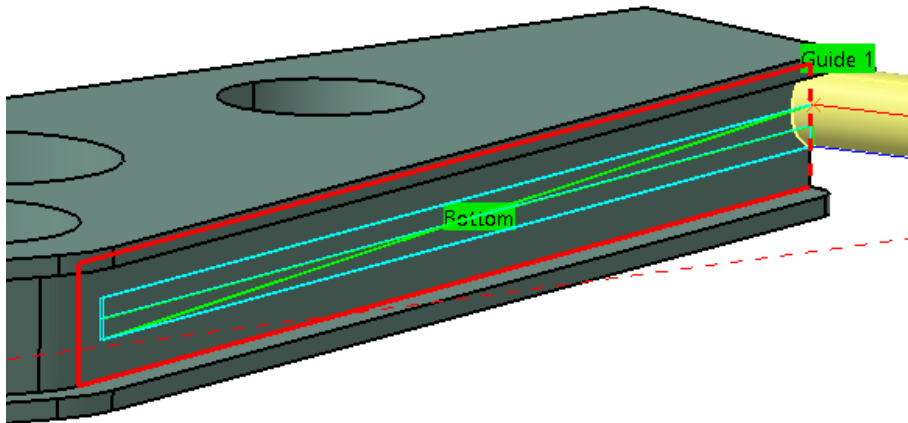


Figura 6-146. *Seat mounting frame 11*-parte principal: Trayectoria de contorneado

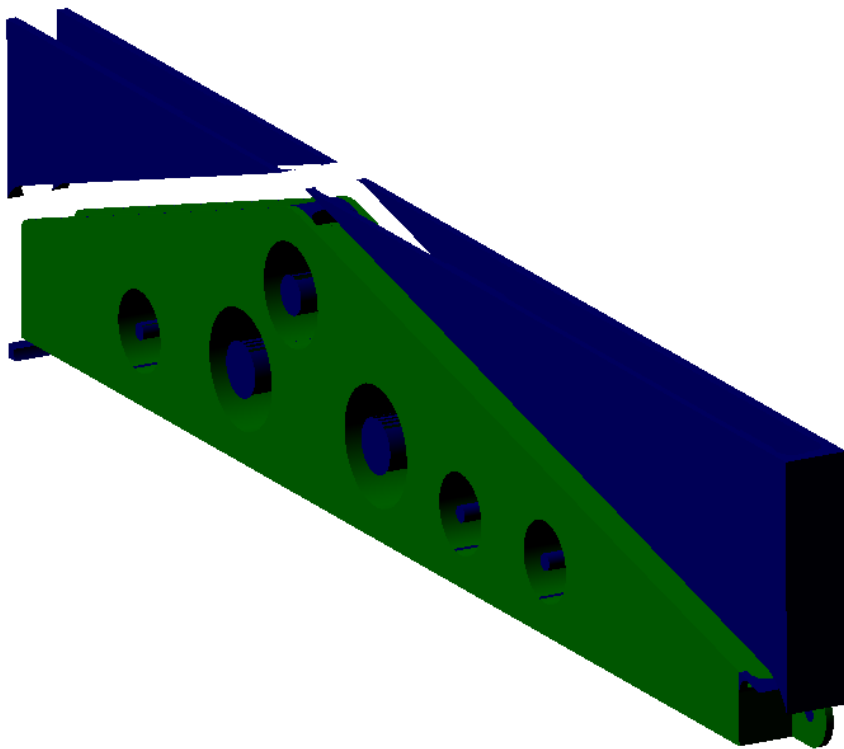


Figura 6-147. *Seat mounting frame 11*-parte principal: Resultado de contorneado

Habría que realizar operaciones de retrabaja en la zona superior, ya que ésta es curva y no podemos mecanizarla por vaciado. Podemos realizar operaciones avanzadas de desbaste (mecanizado de superficies).

#### 5. Taladrado (*Drilling.1-Drilling.4*):

- a. **Estrategia de mecanizado:** Seguimos una secuencia de taladrado que aumenta progresivamente el diámetro del agujero para asegurar la calidad del resultado. La secuencia es: 2.5, 3.5, 5 y 6mm.
- b. **Geometría a mecanizar:** Agujero de diámetro 6mm.
- c. **Herramientas:** Utilizaremos las brocas de UNCETA A2 2297 D2.5, A2 2297 D3.5, A2 2060 D5 y A2 2060 D6 (Figuras 6-42 a 6-50, apartado **6.3.3.5 Herramientas seleccionadas**).
- d. **Parámetros de corte:** Los definidos para mecanizado de aleaciones de aluminio con las herramientas de corte elegidas (Tabla 6-1, apartado **6.3.3.5 Herramientas seleccionadas**).
- e. **Macros:** Macros de aproximación y retirada del usuario (**6.4.1.7. Macros en operaciones de mecanizado**).



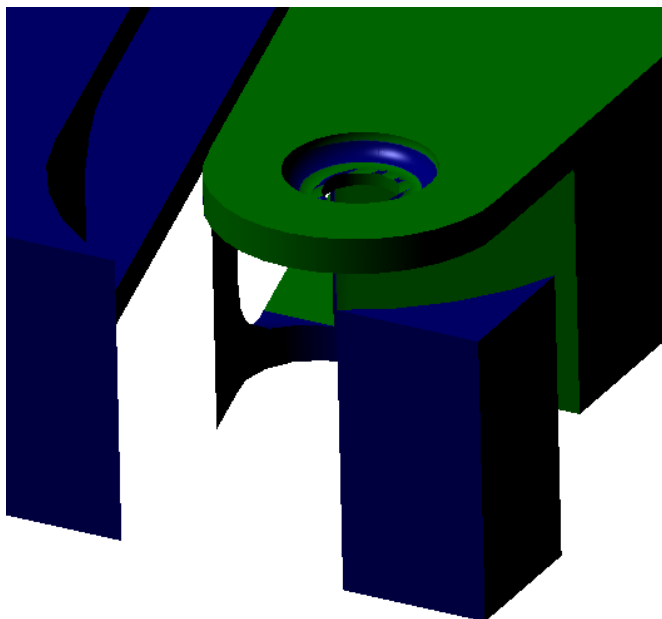


Figura 6-148. *Seat mounting frame* 11-parte principal: Resultado de taladrado en detalle

Previamente al taladrado, debemos hacer una operación de vaciado sobre la circunferencia de diámetro 12mm, para la que usamos la fresa periférico-frontal Mitsubishi AM2MBR0200A060 (Figura 6-36). Dicha operación debería estar seguida de un proceso de retrabajado para mejorar el resultado y eliminar material que queda sin mecanizar.

#### 6.6.2.1.9.2 Barra superior (rediseñada)

Se trata de una barra maciza de diámetro 20.6mm y longitud 405mm que se sitúa en horizontal sobre la parte superior de la estructura, uniendo las dos unidades existentes del elemento principal.

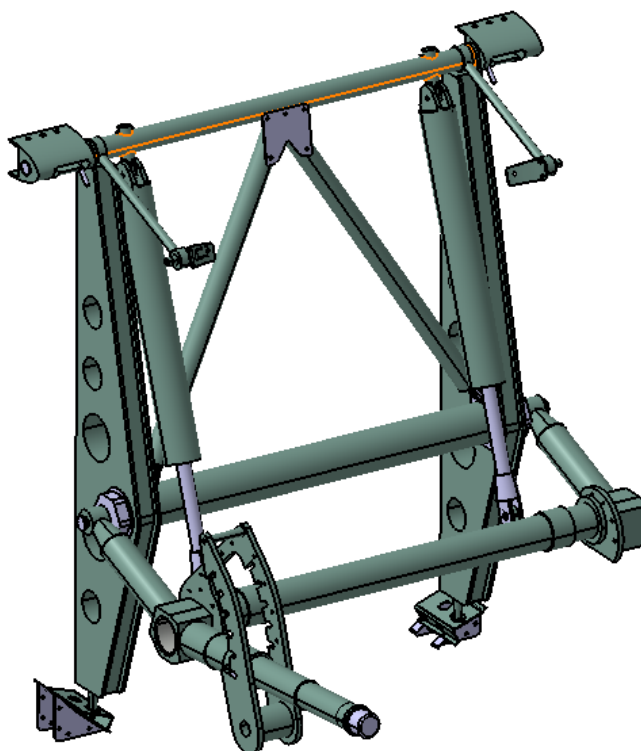


Figura 6-149. *Seat mounting frame* 11: Barra superior en el entorno del sistema

Esta barra posee alojamientos en los laterales que permiten posicionar la estructura completa y fijarla en la parte superior mediante los pestillos. También posee dos alojamientos verticales para fijar los dos amortiguadores de regulación de altura, así como taladros en la zona central donde se remacha la sujeción de las barras diagonales.

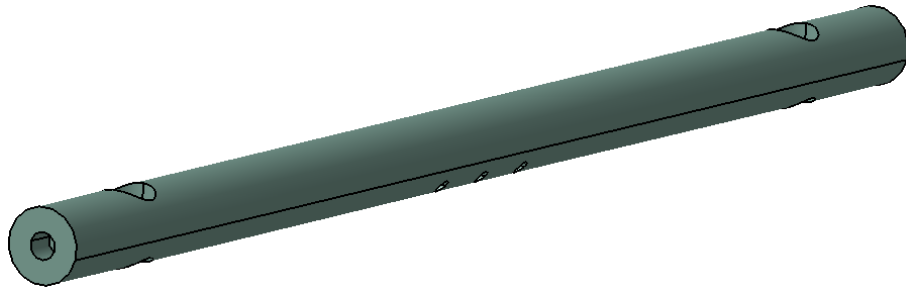


Figura 6-150. *Seat mounting frame* 11: Barra superior modelada en CATIA

El trabajo de rediseño consiste en hacer pasantes los taladros de diámetro 3.5mm sobre los que se remacha la sujeción de las barras diagonales. Para ello, simplemente modificamos las características de la operación *Pocket* o *Hole* correspondiente.

A continuación enumeramos las operaciones a realizar para obtener este componente:

1. **Laminación:** Con este proceso obtenemos una barra de dimensiones mayores a las máximas.
2. **Torneado:**
  - a. **Refrentado** de la superficie delantera.
  - b. **Cilindrado** de diámetro 20.6mm y profundidad 405mm.
  - c. **Taladrado** de diámetro 6mm y profundidad 9mm (a un lado de la barra).
  - d. **Escariado** del agujero anterior para dejarlo con diámetro 7.5mm (a un lado de la barra).
  - e. **Tronzado** para cortar la longitud exacta del tubo.
  - f. **Taladrado** de diámetro 6mm y profundidad 9mm (al otro lado de la barra).
  - g. **Escariado** del agujero anterior para dejarlo con diámetro 7.5mm (al otro lado de la barra).
3. **Vaciado:** Para obtener los alojamientos verticales donde se coloca el sistema de sujeción de los amortiguadores. El diámetro de estos alojamientos es 14mm. Esta operación podemos realizarla en la máquina CNC.
4. **Taladrado:** Para obtener los agujeros pasantes de diámetro 3.5mm. Podemos realizar la operación en la máquina CNC o con ayuda de un taladro manual.

## 6.6.2.1.9.3 Tubo diagonal (rediseñado)

Tenemos dos tubos que se sitúan diagonalmente con el objetivo de rigidizar la estructura. Estos tubos tienen diámetro 20.6mm, longitud 327mm y espesor 3mm.

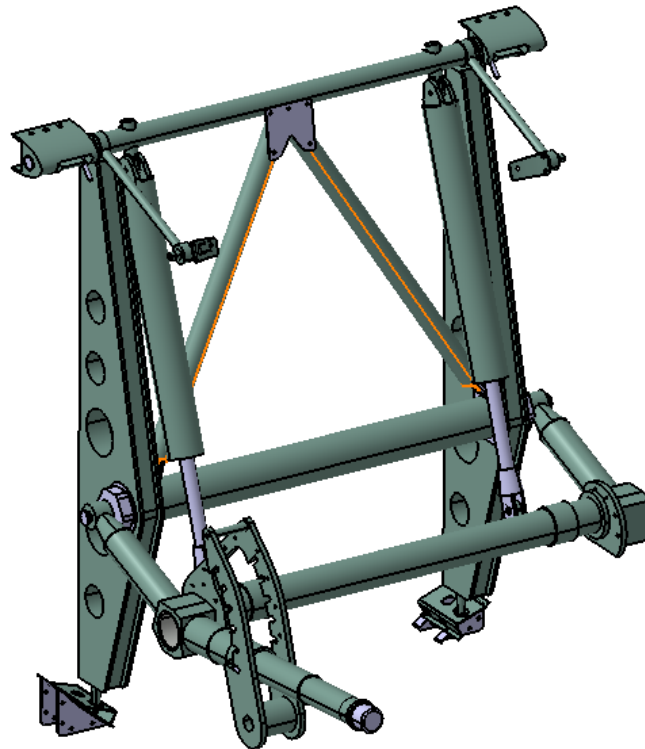


Figura 6-151. *Seat mounting frame 11*: Barras diagonales en el entorno del sistema

El trabajo de rediseño consiste en pasar de una barra maciza a un tubo de espesor 3mm. Para ello simplemente incluimos la operación *Shell.1* especificando el espesor interior de 3mm, o bien, modificamos las propiedades de la operación de extrusión (*Pad*) correspondiente añadiendo espesor 3mm.

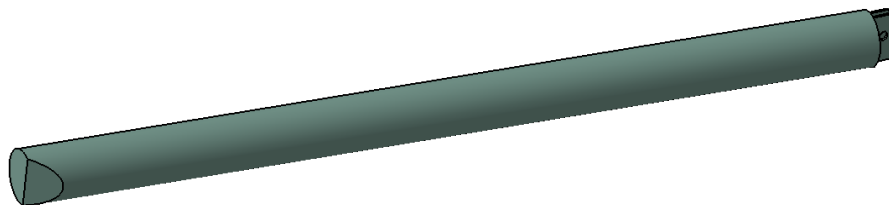


Figura 6-152. *Seat mounting frame 11*: Diseño erróneo de la barra diagonal

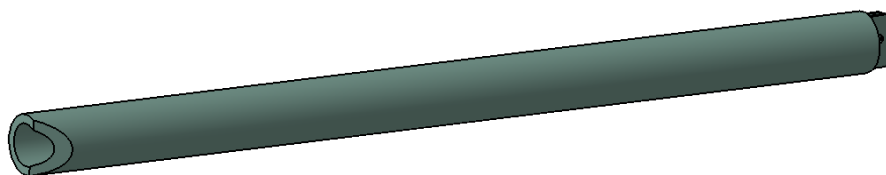


Figura 6-153. *Seat mounting frame 11*: Barra diagonal modelada en CATIA

El proceso de fabricación será el que sigue:

1. **Laminación:** Con este proceso obtenemos una barra de dimensiones mayores a las máximas.
2. **Extrusión:** Se hace pasar la barra anteriormente obtenida por una matriz o hilera de perfil hueco con la forma del tubo en cuestión (para mejor acabado superficial podríamos repasarlo en un torno).
3. **Corte:** Con ángulo 60°. Por ejemplo, corte con serrucho y lijado posterior de la superficie para obtener un acabado superficial adecuado.

4. **Soldadura:** Por último se suelda una tapa en el otro extremo del tubo y sobre ésta dos elementos que permiten la sujeción del tubo en el entorno de la estructura completa. Se trata de dos placas de dimensiones 10 x 17.7 x 1mm con un taladro en el centro de diámetro 3.5mm.

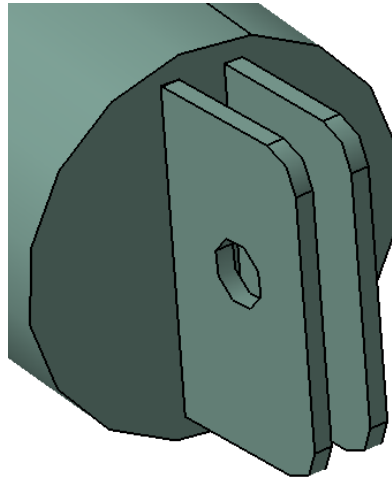


Figura 6-154. *Seat mounting frame 11*: Elementos soldados en la barra diagonal

#### 6.6.2.1.9.4 Tubo inferior (rediseñado)

Se trata de un tubo de diámetro 38.7mm, longitud 358mm y espesor 3mm que se sitúa horizontalmente en la parte inferior de la estructura.

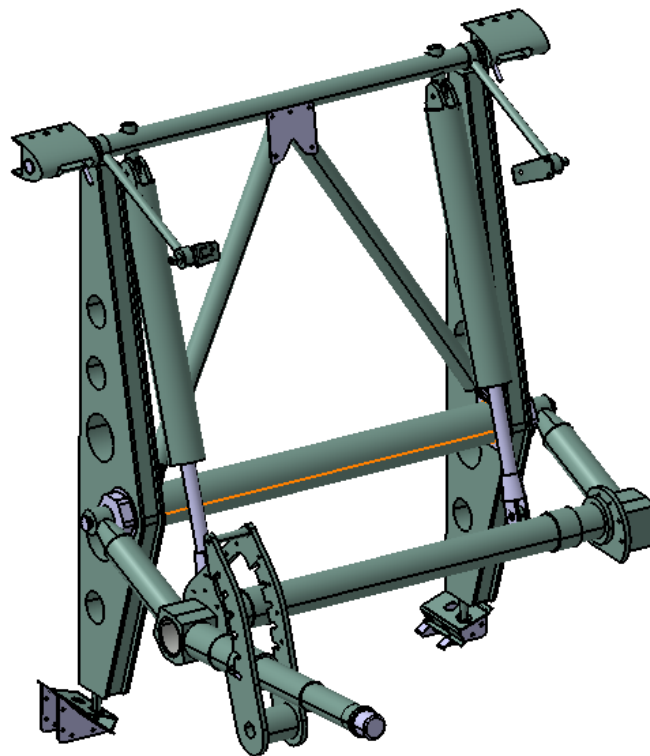


Figura 6-155. *Seat mounting frame 11*: Barra inferior 1 en el entorno del sistema

El rediseño de este elemento consiste nuevamente en pasar de una barra maciza a un tubo de espesor 3mm. Para ello eliminamos los alojamientos de los extremos (operaciones *Hole* y *Mirror*) y modificamos los parámetros de la operación de extrusión (*Pad*) añadiendo un espesor interior de 3mm. Para respetar la funcionalidad del tubo, que se fija mediante tornillería, debemos tapar los extremos del mismo con chapa de espesor 3mm con un agujero de diámetro 10mm en el centro. También debemos hacer sendos huecos en la zona superior del tubo para permitir el acceso para apriete de las tuercas correspondientes.

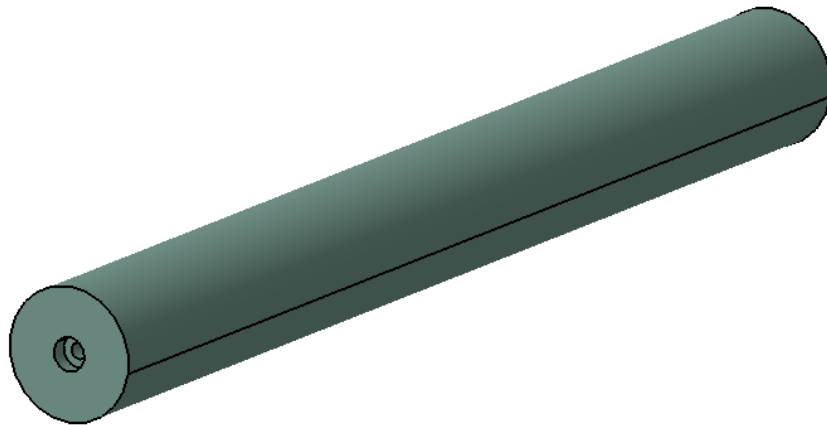


Figura 6-156. *Seat mounting frame 11*: Diseño erróneo de la barra inferior 1

En el entorno de CATIA estos cambios se aplican incluyendo las siguientes operaciones:

1. **Modificación extrusión 1 (*Pad.1*):** Recortamos la longitud del tubo 3mm por cada lado, para añadir las correspondientes tapas (pasamos de 358mm a 352mm).
2. **Extrusión 1 (*Pad.2*):** Añadimos la tapa de espesor 3mm y con taladro central de diámetro 10mm.

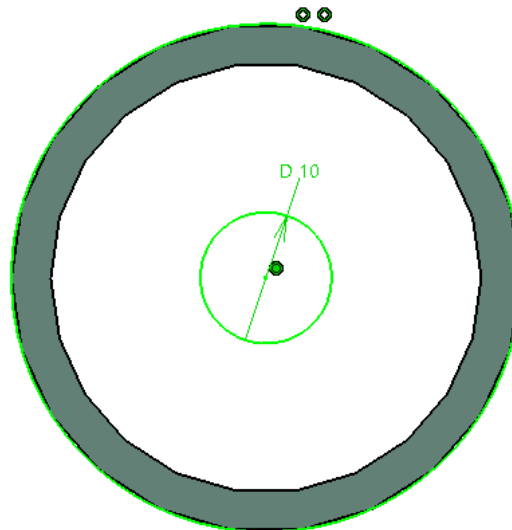


Figura 6-157. *Seat mounting frame 11*: *Sketch* de la operación *Pad* de la barra inferior 1

3. **Vaciado 1 (*Pocket.1*):** Añadimos el hueco que nos permite la colocación y el apriete de la tuerca que se sitúa en el interior del tubo.

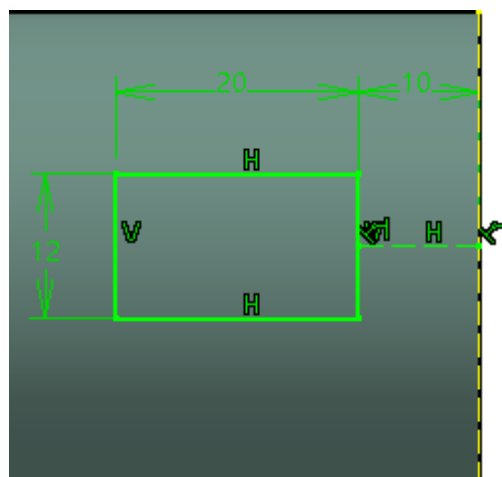


Figura 6-158. *Seat mounting frame 11*: *Sketch* de la operación *Pocket* de la barra inferior 1

4. **Mirror.1:** Hacemos simetría de las operaciones 2 y 3.

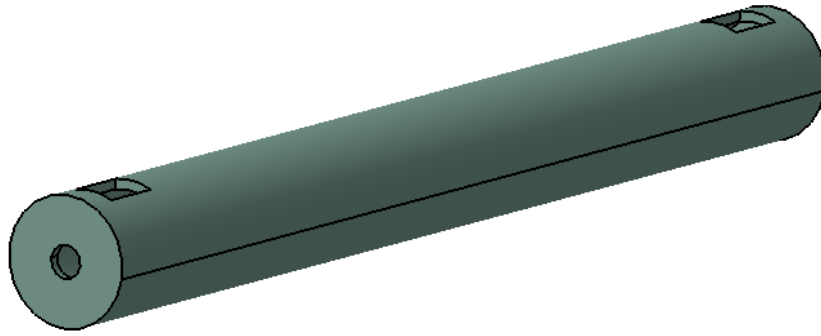


Figura 6-159. *Seat mounting frame 11*: Barra inferior 1 modelada en CATIA

El proceso de fabricación será el que sigue:

1. **Laminación:** Con este proceso obtenemos una barra de dimensiones mayores a las máximas.
2. **Extrusión:** Se hace pasar la barra anteriormente obtenida por una matriz o hilera de perfil hueco con la forma del tubo en cuestión (para mejor acabado superficial podríamos repasarlo en un torno).
3. **Soldadura:** Se sueldan tapas en ambos extremos. Estas tapas son placas de diámetro 38.7mm y espesor 3mm que se obtienen fácilmente en la máquina CNC mediante **planeado, contorneado y taladrado**.
4. **Vaciado:** Esta operación se efectúa para obtener los huecos rectangulares de dimensiones 20 x 12mm. Podemos realizarla en la máquina CNC con la fresa adecuada.

6.6.2.1.9.5 Barra inferior 2

Se trata de una barra de longitud 406mm y diámetro máximo 44mm. Esta barra posee dos uniones soldadas sobre las que se posicionan los sistemas de amortiguación.

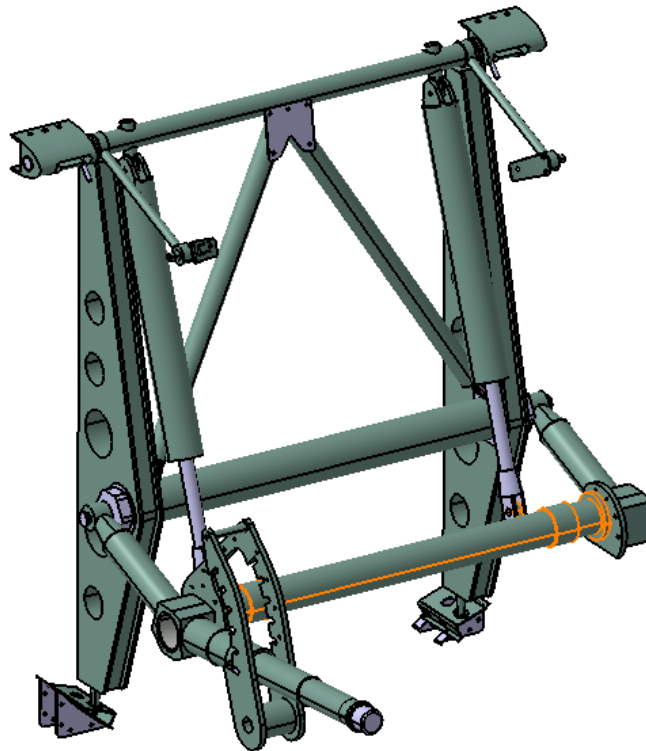


Figura 6-160. *Seat mounting frame 11*: Barra inferior 2 en el entorno del sistema

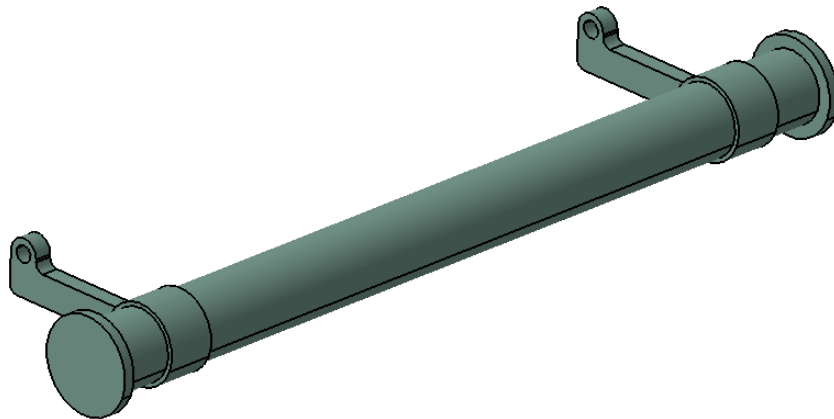


Figura 6-161. *Seat mounting frame 11*: Barra inferior 2 modelada en CATIA

Para obtener la barra hacemos las siguientes operaciones:

1. **Laminación:** Con este proceso obtenemos una barra de dimensiones mayores a las máximas.
2. **Torneado:**
  - a. **Refrentado** de la superficie delantera.
  - b. **Cilindrado** de diámetro 44mm y profundidad 5mm.
  - c. **Cilindrado** de diámetro 32.3mm y profundidad 25.5mm.
  - d. **Cilindrado** de diámetro 36.3mm y profundidad 22.5mm.
  - e. **Cilindrado** de diámetro 32.3mm y profundidad 300.3mm.
  - f. **Cilindrado** de diámetro 36.3mm y profundidad 22.5mm.
  - g. **Cilindrado** de diámetro 32.3mm y profundidad 25.5mm.
  - h. **Cilindrado** de diámetro 44mm y profundidad 5mm.
  - i. **Taladrado** de diámetro 30mm y profundidad 33.2mm.
  - j. **Tronzado** para cortar la longitud exacta del tubo.

Por otro lado, obtenemos las piezas soldadas que hacen de unión con el sistema de amortiguación, a partir de preformas de dimensiones 90 x 37 x 10mm.

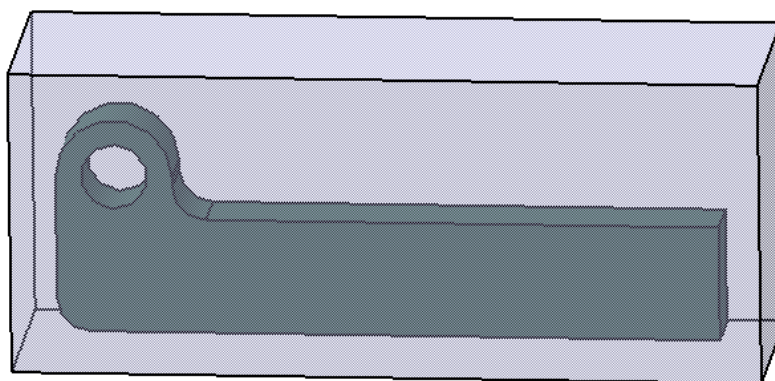


Figura 6-162. *Seat mounting frame 1*-barra inferior 2: Preforma

1. **Planeado por ambas caras (*Facing.1* y *Facing.2*):**
  - a. **Estrategia de mecanizado:** Ida y vuelta con una pasada de desbaste y una de acabado.
  - b. **Geometría a mecanizar:** Caras superior e inferior de las preforma eliminando 1mm de material en cada cara.
  - c. **Herramienta:** Fresa de planeado ASX400-100B10R de Mitsubishi Materials (Figura 6-28,

apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).

- d. **Parámetros de corte:** Los definidos para mecanizado de aleaciones de aluminio con la herramienta de corte elegida (Figura 6-29, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- e. **Macros:** Utilizamos las macros de aproximación, retirada y aclarado del usuario (6.4.1.7. *Macros en operaciones de mecanizado*).

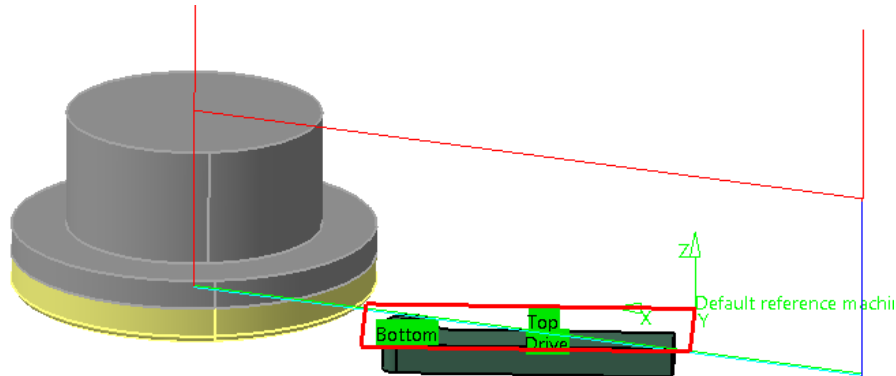


Figura 6-163. *Seat mounting frame 1-barra inferior 2: Trayectoria de planeado*

## 2. Contorneado (*Profile Contouring.1*):

- a. **Estrategia de mecanizado:** Zig-zag con una pasada de desbaste y una de acabado.
- b. **Geometría a mecanizar:** Contorno exterior.
- c. **Herramienta:** Fresa periférico-frontal VQJHVD1200 de Mitsubishi Materials (Figura 6-32, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- d. **Parámetros de corte:** Los definidos para mecanizado de aleaciones de aluminio con la herramienta de corte elegida (Figura 6-33, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- e. **Macros:** Macros de aproximación y retirada del usuario (6.4.1.7. *Macros en operaciones de mecanizado*).

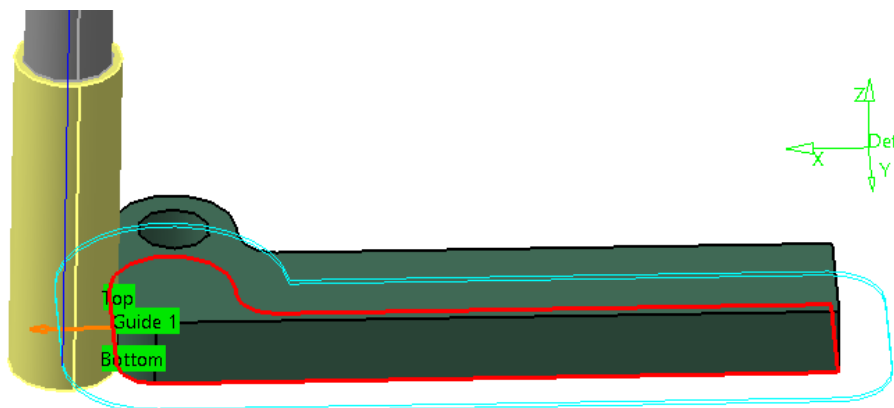


Figura 6-164. *Seat mounting frame 1-barra inferior 2: Trayectoria de contorneado*





Figura 6-165. *Seat mounting frame* 1-barra inferior 2: Resultado de contorneado

### 3. Taladrado (*Drilling.1- Drilling.4*):

- a. **Estrategia de mecanizado:** Seguimos una secuencia de taladrado que aumenta progresivamente el diámetro del agujero para asegurar la calidad del resultado. La secuencia es: 2.5, 3.5, 5 y 8mm.
- b. **Geometría a mecanizar:** El agujero de diámetro 8mm.
- c. **Herramientas:** Utilizaremos las brocas de UNCETA A2 2297 D2.5, A2 2297 D3.5, A2 2060 D5 y A2 2060 D8 (Figuras 6-42 a 6-50, apartado **6.3.3.5 Herramientas seleccionadas**).
- d. **Parámetros de corte:** Los definidos para mecanizado de aleaciones de aluminio con las herramientas de corte elegidas (Tabla 6-1, apartado **6.3.3.5 Herramientas seleccionadas**).
- e. **Macros:** Macros de aproximación y retirada del usuario (**6.4.1.7. Macros en operaciones de mecanizado**).

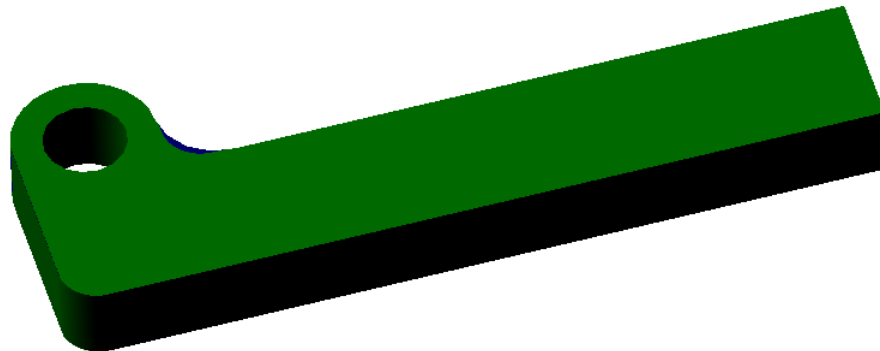


Figura 6-166. *Seat mounting frame* 1-barra inferior 2: Resultado de taladrado

Por último, **soldamos** los elementos para obtener la pieza final.

## 6.6.2.1.9.6 Sujeción inferior 1

Se trata de una “escuadra” con la particularidad de que el doblado de chapa sigue la curvatura del contorno interior de la cuaderna 11. Se tienen cuatro unidades que se remachan sobre las chapas anterior y posterior que conforman el marco de la cuaderna 11.

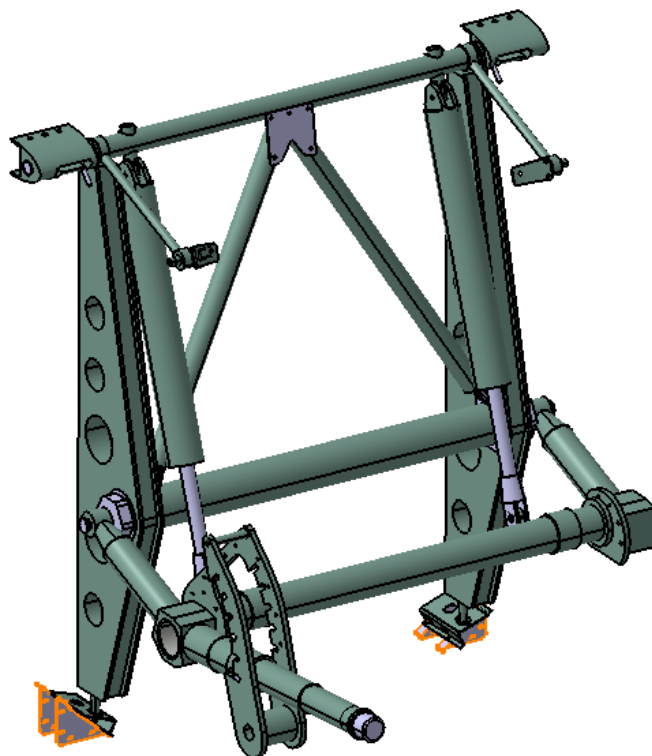


Figura 6-167. *Seat mounting frame 11*: Sujeciones inferiores 1 en el entorno del sistema

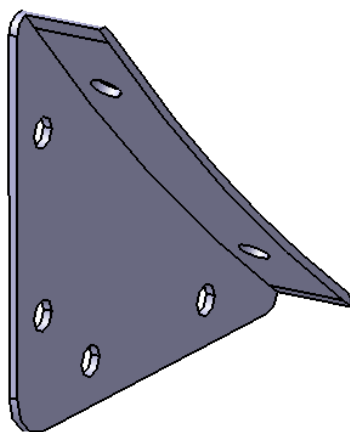


Figura 6-168. *Seat mounting frame 11*: Sujeción inferior 1 modelada en CATIA

Para obtener esta pieza seguimos la secuencia que se detalla a continuación, partiendo de una preforma de dimensiones 60 x 66 x 3mm.

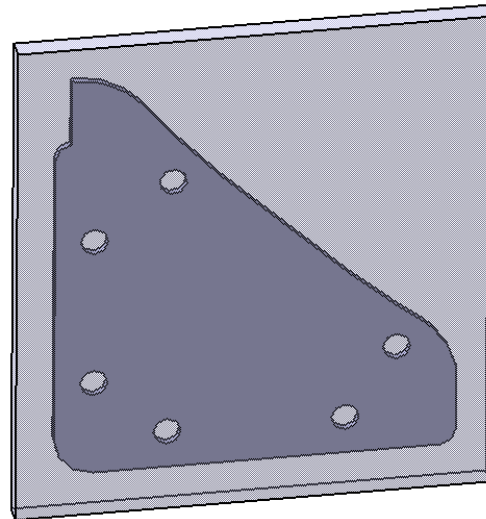


Figura 6-169. *Seat mounting frame 11-sujeción inferior 1: Preforma*

### 1. Planeado por ambas caras (*Facing.1 y Facing.2*):

- a. **Estrategia de mecanizado:** Ida y vuelta con una pasada de desbaste y una de acabado.
- b. **Geometría a mecanizar:** Caras superior e inferior de las preforma eliminando 1mm de material en cada cara.
- c. **Herramienta:** Fresa de planeado ASX400-100B10R de Mitsubishi Materials (Figura 6-28, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- d. **Parámetros de corte:** Los definidos para mecanizado de aleaciones de aluminio con la herramienta de corte elegida (Figura 6-29, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- e. **Macros:** Utilizamos las macros de aproximación, retirada y aclarado del usuario (6.4.1.7. *Macros en operaciones de mecanizado*).

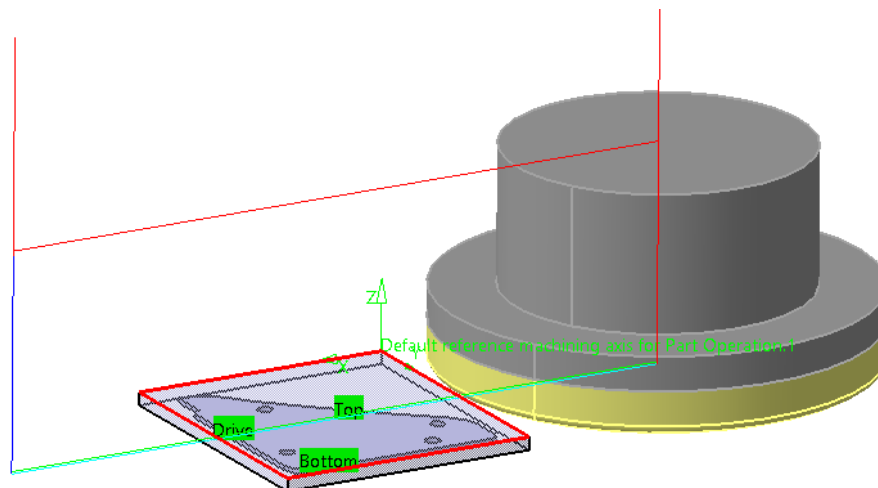


Figura 6-170. *Seat mounting frame 11-sujeción inferior 1: Trayectoria de planeado*

### 2. Contorneado (*Profile Contouring.1*):

- a. **Estrategia de mecanizado:** Zig-zag con una pasada de desbaste y una de acabado.
- b. **Geometría a mecanizar:** Contorno exterior.
- c. **Herramienta:** Fresa periférico-frontal AM2MBR0200A060 de Mitsubishi Materials (Figura 6-36, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- d. **Parámetros de corte:** Los definidos para mecanizado de aleaciones de aluminio con la herramienta de corte elegida (Figura 6-37, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).

- e. **Macros:** Macros de aproximación y retirada del usuario (6.4.1.7. *Macros en operaciones de mecanizado*).

En las siguientes figuras se muestran la trayectoria de mecanizado y el resultado de la operación.

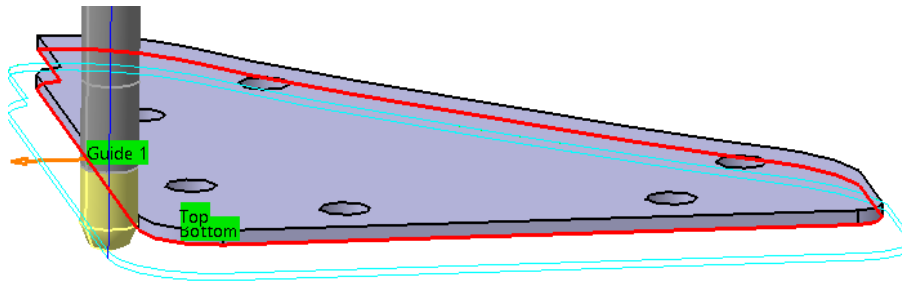


Figura 6-171. *Seat mounting frame* 11-sujeción inferior 1: Trayectoria de contorno

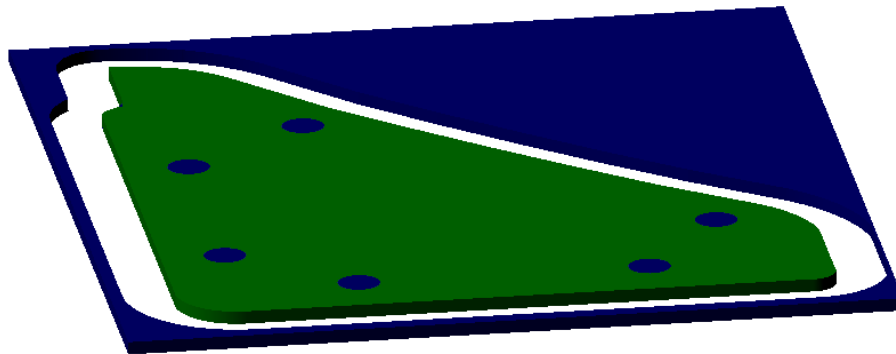


Figura 6-172. *Seat mounting frame* 11-sujeción inferior 1: Resultado de contorno

### 3. Taladrado (*Drilling.1- Drilling.2*):

- Estrategia de mecanizado:** Seguimos una secuencia de taladrado que aumenta progresivamente el diámetro del agujero para asegurar la calidad del resultado. La secuencia es: 2.5-3.5mm. Transición entre agujeros a 10mm de la pieza.
- Geometría a mecanizar:** Los agujeros de diámetro 3.5mm.
- Herramientas:** Utilizaremos las brocas de UNCETA A2 2297 D2.5 y A2 2297 D3.5 (Figuras 6-42 a 6-50, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- Parámetros de corte:** Los definidos para mecanizado de aleaciones de aluminio con las herramientas de corte elegidas (Tabla 6-1, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- Macros:** Macros de aproximación y retirada del usuario (6.4.1.7. *Macros en operaciones de mecanizado*).

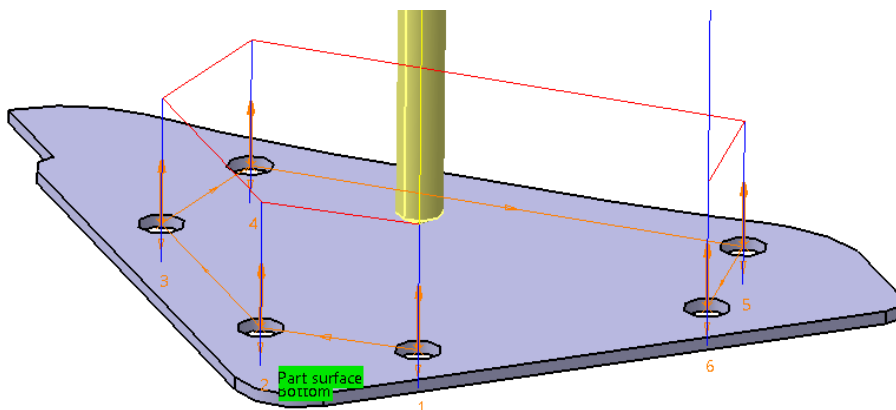


Figura 6-173. *Seat mounting frame* 11-sujeción inferior 1: Trayectoria de taladrado

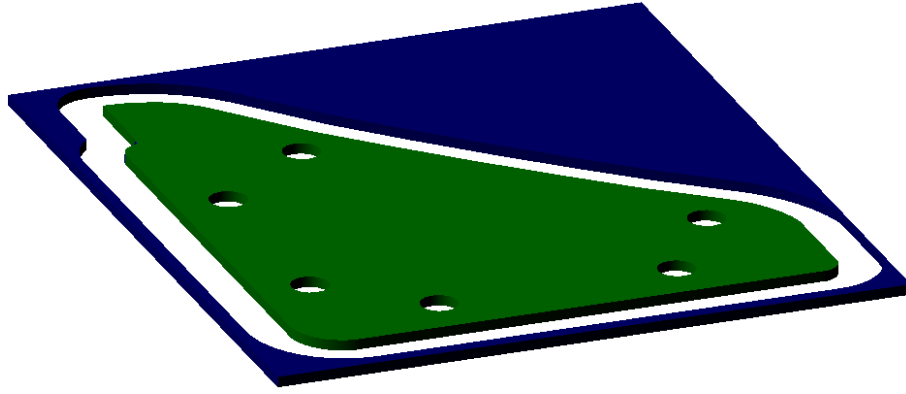


Figura 6-174. *Seat mounting frame* 11-sujeción inferior 1: Resultado de taladrado

4. **Doblado de chapa:** Para finalizar doblamos la chapa de forma que siga el contorno interior de la cuaderna 11. Los taladros situados en la parte que doblamos sería conveniente realizarlos una vez finalizada la operación de doblado de chapa para garantizar su correcta posición.

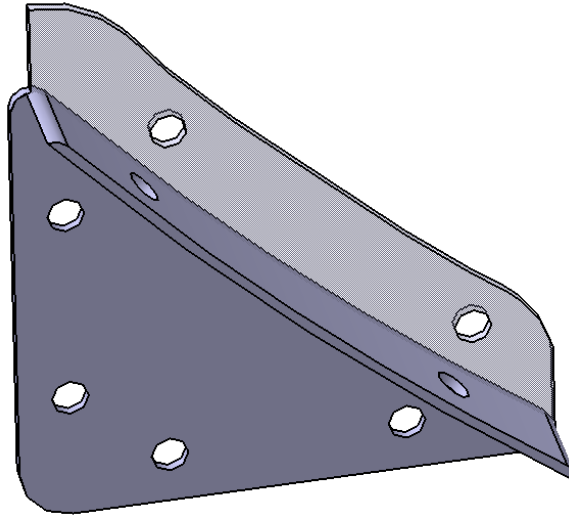


Figura 6-175. *Seat mounting frame* 11-sujeción inferior 1: Doblado de chapa

#### 6.6.2.1.9.7 Sujeción inferior 2

Se tienen dos unidades que se fijan dos a dos con las sujeciones inferiores 1 mediante remachado. La función de esta pieza en particular, es la de fijar en la parte inferior las dos unidades existentes de la parte principal de la estructura de sujeción del asiento.

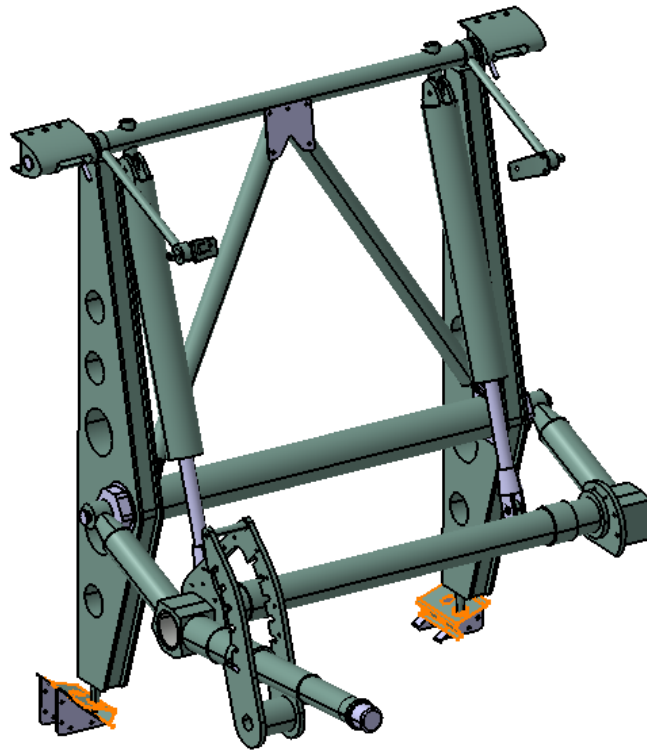


Figura 6-176. *Seat mounting frame 11*: Sujeciones inferiores 2 en el entorno del sistema

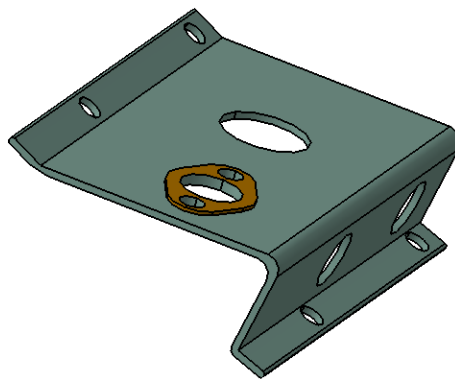


Figura 6-177. *Seat mounting frame 11*: Sujeción inferior 2 modelada en CATIA

Partiendo de una preforma de dimensiones 57 x 64 x 3mm, realizamos las siguientes operaciones para la obtención de la pieza en cuestión:

#### 1. Planeado por ambas caras (*Facing.1* y *Facing.2*):

- a. **Estrategia de mecanizado:** Ida y vuelta con una pasada de desbaste y una de acabado.
- b. **Geometría a mecanizar:** Caras superior e inferior de las preforma eliminando 1mm de material en cada cara.
- c. **Herramienta:** Fresa de planeado ASX400-100B10R de Mitsubishi Materials (Figura 6-28, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- d. **Parámetros de corte:** Los definidos para mecanizado de aleaciones de aluminio con la herramienta de corte elegida (Figura 6-29, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- e. **Macros:** Utilizamos las macros de aproximación, retirada y aclarado del usuario (6.4.1.7. *Macros en operaciones de mecanizado*).

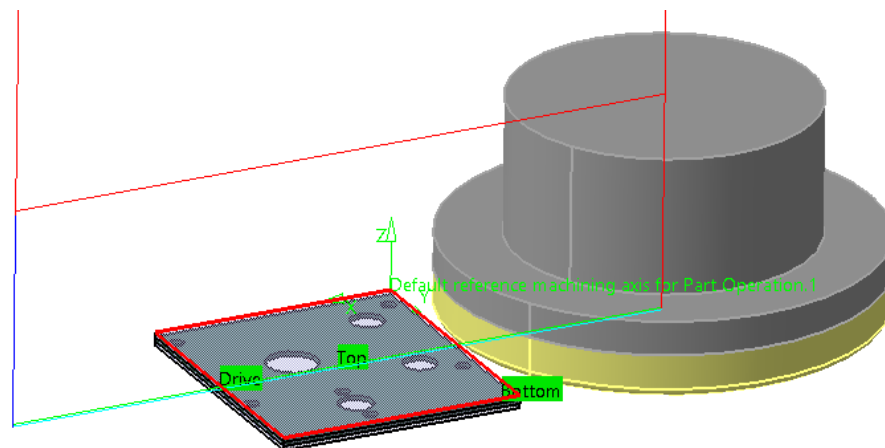


Figura 6-178. *Seat mounting frame* 11-sujeción inferior 2: Trayectoria de planeado

## 2. Contorneado (*Profile Contouring.1*):

- a. **Estrategia de mecanizado:** Zig-zag con una pasada de desbaste y una de acabado (error en la simulación, se muestra mecanizado en dos niveles axiales, es decir dos pasadas de desbaste y dos de acabado).
- b. **Geometría a mecanizar:** Contorno interior, es decir, la circunferencia de diámetro 12mm.
- c. **Herramienta:** Fresa periférico-frontal AM2MBR0100A060 de Mitsubishi Materials (Figura 6-38, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- d. **Parámetros de corte:** Los definidos para mecanizado de aleaciones de aluminio con la herramienta de corte elegida (Figura 6-39, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- e. **Macros:** Macros de aproximación y retirada del usuario (6.4.1.7. *Macros en operaciones de mecanizado*).

En las siguientes figuras se muestran la trayectoria de mecanizado y el resultado de la operación.

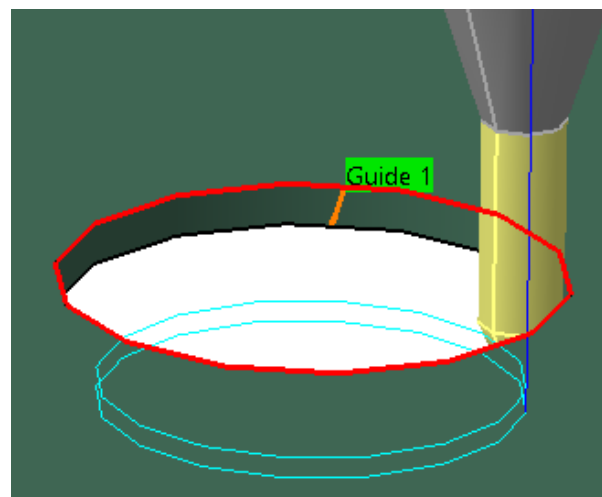


Figura 6-179. *Seat mounting frame* 11-sujeción inferior 2: Trayectoria de contorneado

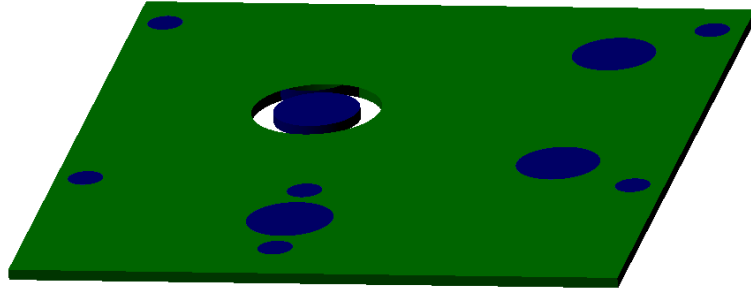


Figura 6-180. *Seat mounting frame 11-sujeción inferior 2*: Resultado de contorneado

### 3. Taladrado (*Drilling.1- Drilling.4*):

- a. **Estrategia de mecanizado:** Seguimos una secuencia de taladrado que aumenta progresivamente el diámetro del agujero para asegurar la calidad del resultado. La secuencia para el mayor diámetro es: 2.5, 3.5, 5 y 8mm. Transición entre agujeros a 10mm de la pieza.
- b. **Geometría a mecanizar:** Los agujeros de diámetro 3.5 y 8mm.
- c. **Herramientas:** Utilizaremos las brocas de UNCETA A2 2297 D2.5, A2 2297 D3.5, A2 2060 D5 y A2 2060 D8 (Figuras 6-42 a 6-50, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- d. **Parámetros de corte:** Los definidos para mecanizado de aleaciones de aluminio con las herramientas de corte elegidas (Tabla 6-1, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- e. **Macros:** Macros de aproximación y retirada del usuario (6.4.1.7. *Macros en operaciones de mecanizado*).

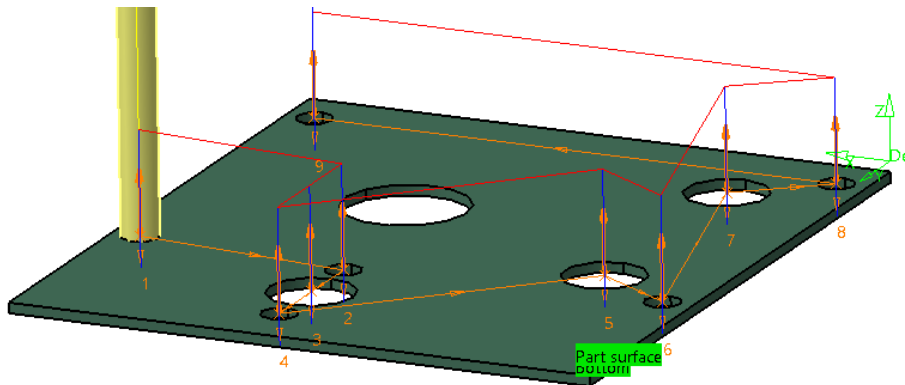


Figura 6-181. *Seat mounting frame 11-sujeción inferior 2*: Trayectoria de taladrado

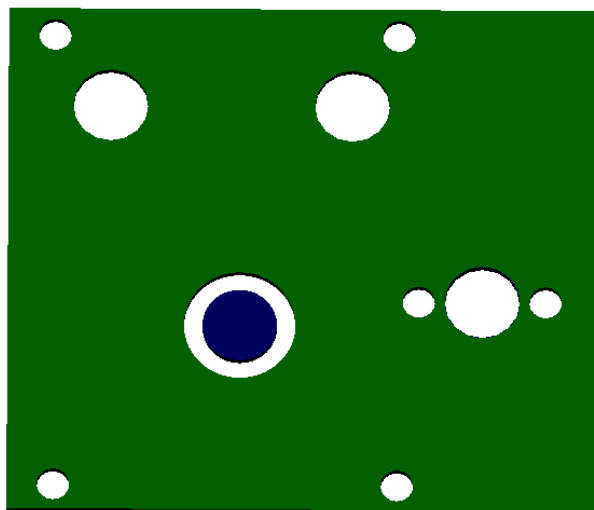


Figura 6-182. *Seat mounting frame 11-sujeción inferior 2*: Resultado de taladrado



4. **Doblado de chapa:** Para finalizar doblamos la chapa, teniendo tres operaciones de este carácter. Al igual que comentamos con la sujeción inferior 1, los taladros situados en las partes que doblamos sería conveniente realizarlos una vez finalizada la operación de doblado de chapa para garantizar su correcta posición.

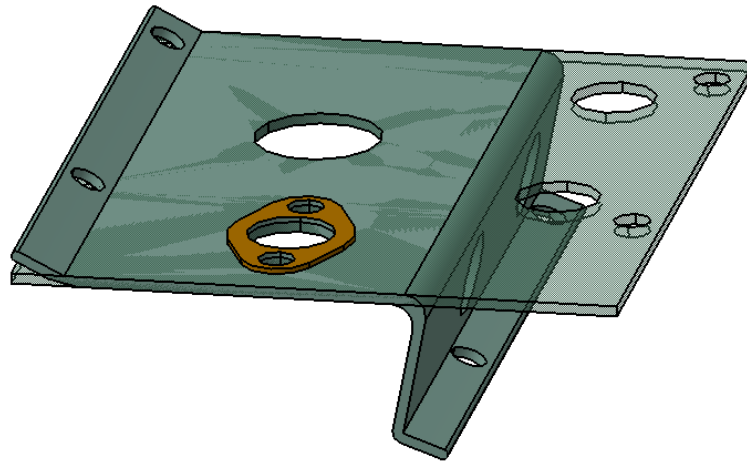


Figura 6-183. *Seat mounting frame* 11-sujeción inferior 2: Doblado de chapa

5. **Soldadura:** Se suelda el componente comercial que se representa en color dorado.

#### 6.6.2.1.9.8 Sujeción superior

Esta pieza se atornilla o remacha sobre la barra superior y se utiliza para fijar las barras diagonales, que a su vez quedan atornilladas o remachadas a esta sujeción.

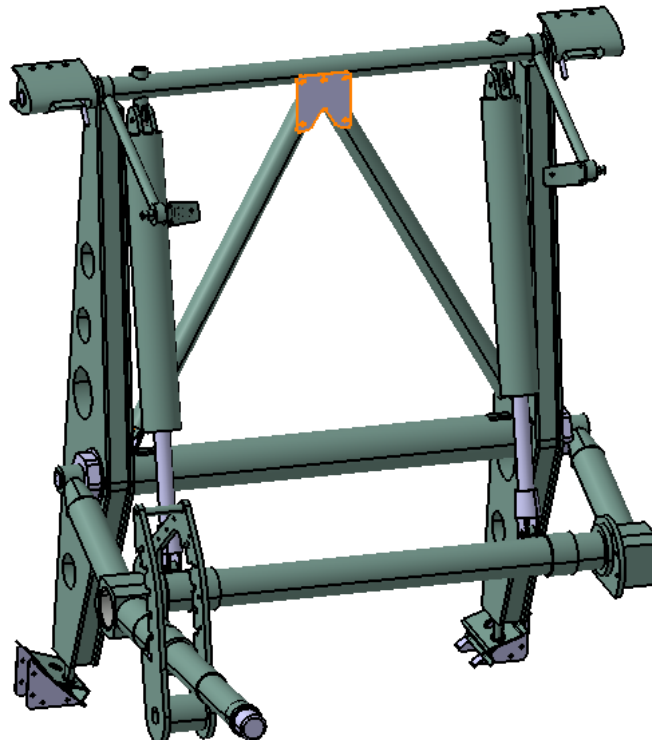


Figura 6-184. *Seat mounting frame* 11: Sujeción superior en el entorno del sistema

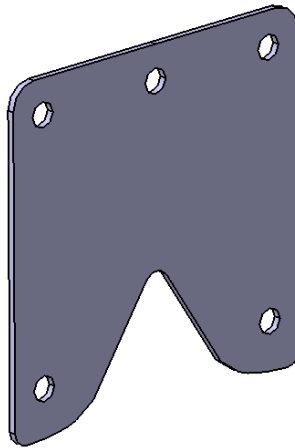


Figura 6-185. *Seat mounting frame 11*: Sujeción superior modelada en CATIA

A partir de la preforma que se muestra a continuación (de dimensiones 52.4 x 52.4 x 3mm), realizamos las operaciones de mecanizado enumeradas para obtener la pieza final.

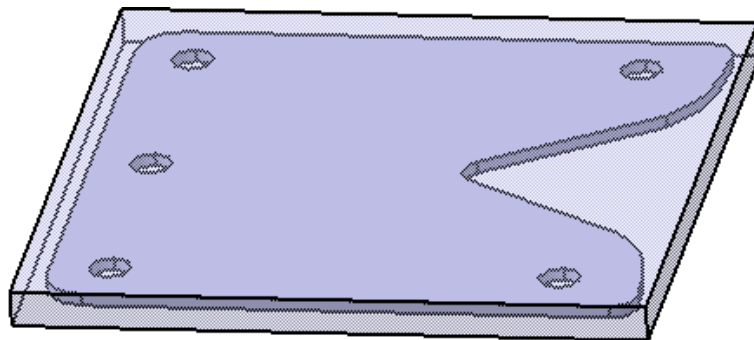


Figura 6-186. *Seat mounting frame 11*-sujeción superior: Preforma

**1. Planeado por ambas caras (*Facing.1* y *Facing.2*):**

- a. **Estrategia de mecanizado:** Ida y vuelta con una pasada de desbaste y una de acabado.
- b. **Geometría a mecanizar:** Caras superior e inferior de las preforma eliminando 1mm de material en cada cara.
- c. **Herramienta:** Fresa de planeado ASX400-100B10R de Mitsubishi Materials (Figura 6-28, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- d. **Parámetros de corte:** Los definidos para mecanizado de aleaciones de aluminio con la herramienta de corte elegida (Figura 6-29, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- e. **Macros:** Utilizamos las macros de aproximación, retirada y aclarado del usuario (6.4.1.7. *Macros en operaciones de mecanizado*).

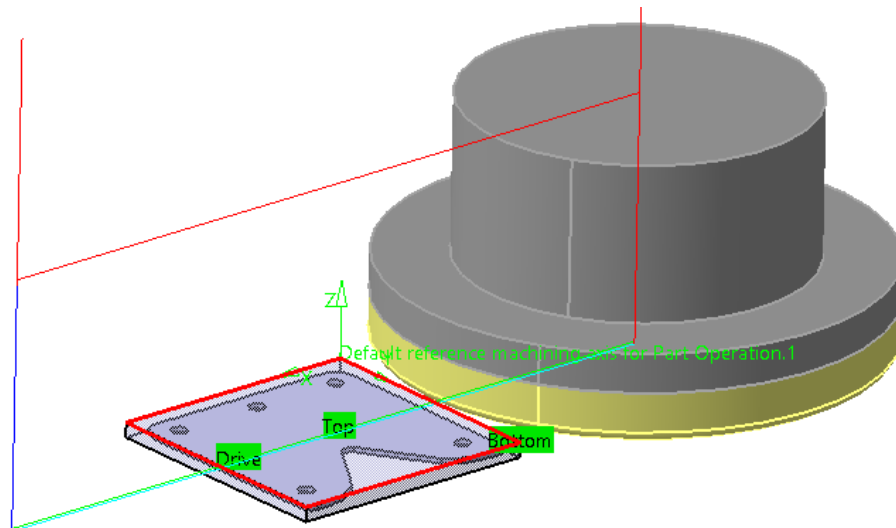


Figura 6-187. *Seat mounting frame 11*-sujeción superior: Trayectoria de planeado

## 2. Contorneado (*Profile Contouring.1*):

- Estrategia de mecanizado:** Zig-zag con una pasada de desbaste y una de acabado.
- Geometría a mecanizar:** Contorno exterior.
- Herramienta:** Fresa periférico-frontal AM2MBR0100A060 de Mitsubishi Materials (Figura 6-38, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- Parámetros de corte:** Los definidos para mecanizado de aleaciones de aluminio con la herramienta de corte elegida (Figura 6-39, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- Macros:** Macros de aproximación y retirada del usuario (6.4.1.7. *Macros en operaciones de mecanizado*).

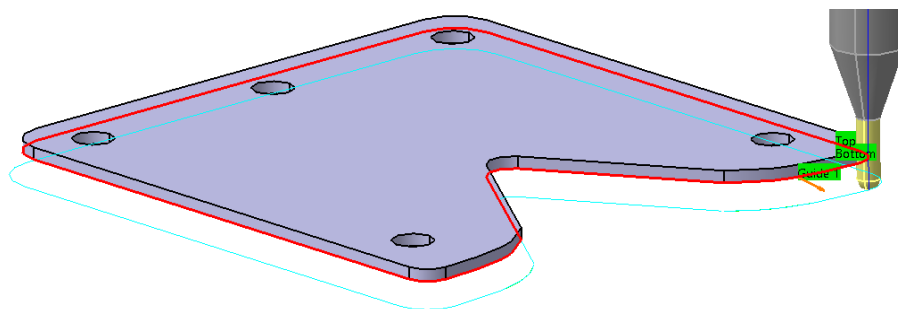


Figura 6-188. *Seat mounting frame 11*-sujeción superior: Trayectoria de contorneado

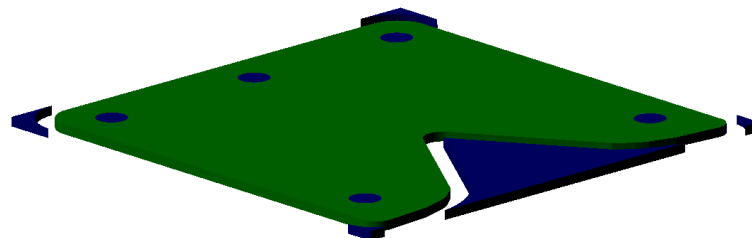


Figura 6-189. *Seat mounting frame 11*-sujeción superior: Resultado de contorneado

## 3. Taladrado (*Drilling.1- Drilling.3*):

- Estrategia de mecanizado:** Seguimos una secuencia de taladrado que aumenta progresivamente el diámetro del agujero para asegurar la calidad del resultado. La secuencia para el mayor diámetro es: 2.5 y 3.5mm. Transición entre agujeros a 10mm de la pieza.
- Geometría a mecanizar:** Los agujeros de diámetro 3.5mm.

- c. **Herramientas:** Utilizaremos las brocas de UNCETA A2 2297 D2.5 y A2 2297 D3.5 (Figuras 6-42 a 6-50, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- d. **Parámetros de corte:** Los definidos para mecanizado de aleaciones de aluminio con las herramientas de corte elegidas (Tabla 6-1, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- e. **Macros:** Macros de aproximación y retirada del usuario (6.4.1.7. *Macros en operaciones de mecanizado*).

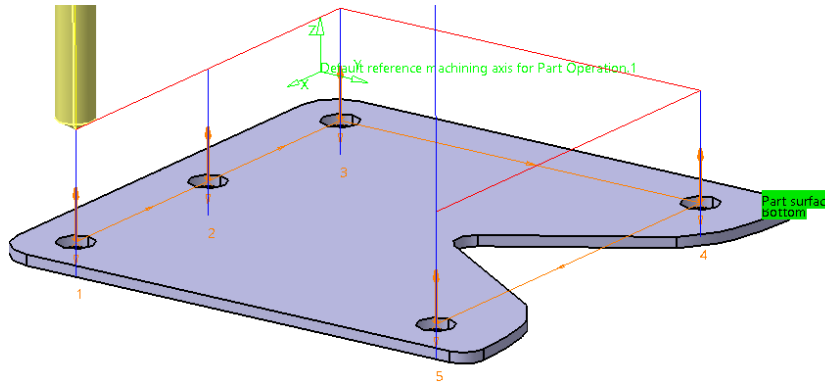


Figura 6-190. *Seat mounting frame 11*-sujeción superior: Trayectoria de taladrado

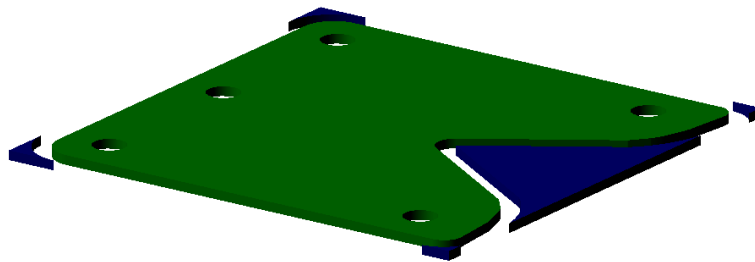


Figura 6-191. *Seat mounting frame 11*-sujeción superior: Resultado de taladrado

#### 6.6.2.1.9.9 Brazo oscilante superior

Estos brazos llevan en su extremo un elemento para fijar el asiento en la zona alta del respaldo y por ello se mueven solidariamente con éste. Está compuesto por tres piezas soldadas entre sí: una barra de diámetro 9.2mm y longitud 131.2mm, un tubo de diámetro 24mm, espesor 1.5mm y altura 9.2mm y otro tubo de diámetro 18.5mm, espesor 4.6mm y altura 9.2mm.

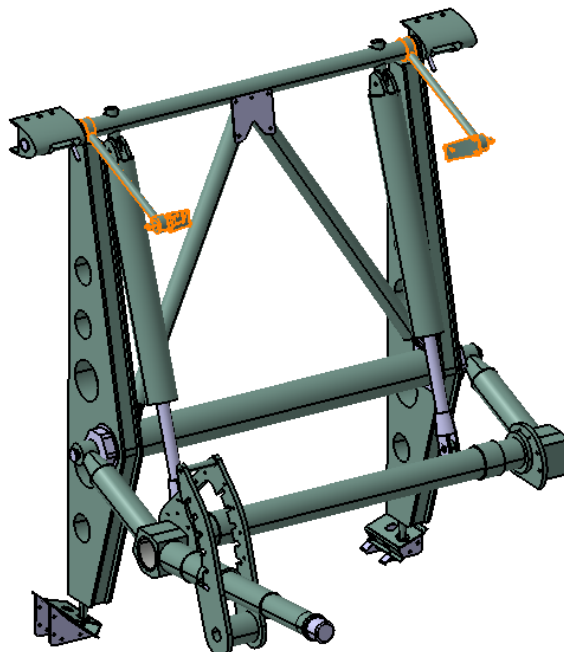


Figura 6-192. *Seat mounting frame 11*: Brazos oscilantes superiores en el entorno del sistema

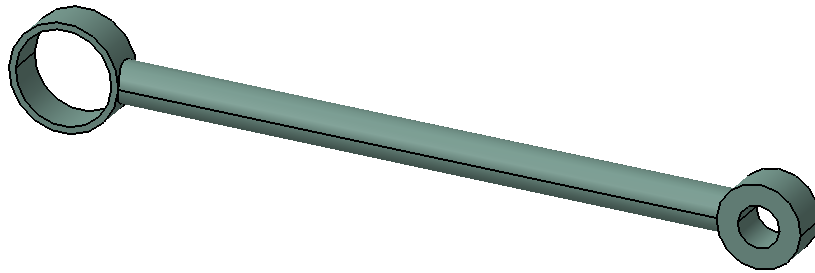


Figura 6-193. *Seat mounting frame 11*: Brazo oscilante superior modelado en CATIA

A continuación enumeramos las operaciones realizadas para su obtención:

1. **Laminación:** Con este proceso obtenemos tres barras de dimensiones mayores a las máximas (en cada caso).
2. **Torneado:**
  - a. **Refrentado** de la superficie delantera.
  - b. **Cilindrado** de diámetro 9.2mm y profundidad 131.2mm.
  - c. **Tronzado** para cortar la longitud exacta del tubo.
3. **Extrusión 1:** Se hace pasar una barra con las dimensiones adecuadas por una matriz o hilera de perfil hueco con la forma del tubo en cuestión (para mejor acabado superficial podríamos repasarlo en un torno).
4. **Soldadura 1:** Soldamos los dos elementos obtenidos.

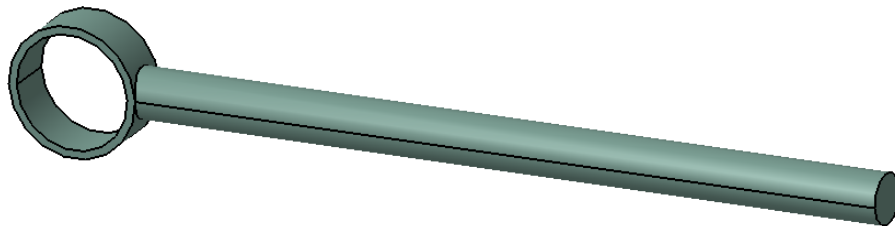


Figura 6-194. *Seat mounting frame 11*: Soldadura 1 del brazo oscilante superior

5. **Extrusión 2:** Se hace pasar una barra con las dimensiones adecuadas por una matriz o hilera de perfil hueco con la forma del tubo en cuestión (para mejor acabado superficial podríamos repasarlo en un torno).
6. **Soldadura 2:** Soldamos el nuevo componente al resultado de la anterior operación de soldadura.

## 6.6.2.1.9.10 Brazo oscilante inferior

Este elemento, así como el mecanismo de ajuste de altura, sirve para fijar el asiento en la parte inferior, permitiendo el movimiento del mismo según lo que requiera el piloto. Está compuesto por tres elementos soldados entre sí.

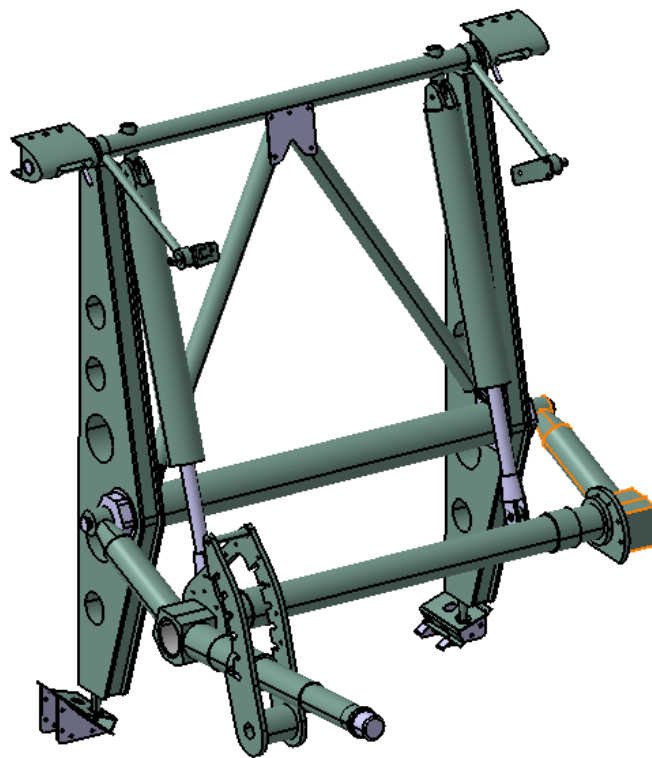


Figura 6-195. *Seat mounting frame 11*: Brazo oscilante inferior en el entorno del sistema

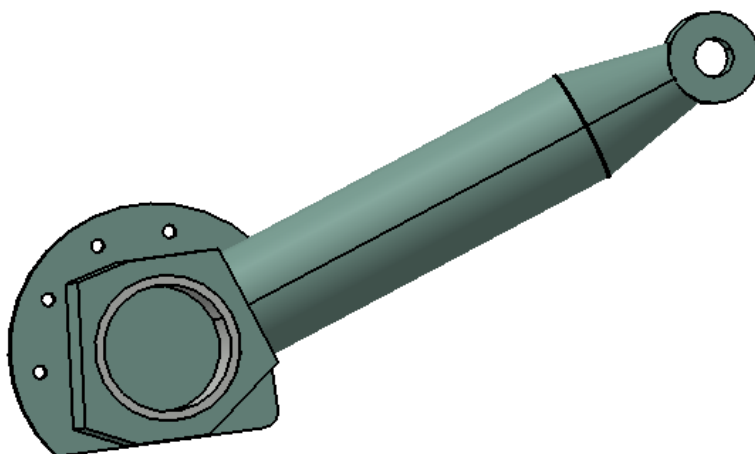


Figura 6-196. *Seat mounting frame 11*: Brazo oscilante inferior modelado en CATIA

A continuación explicamos el proceso de fabricación de cada componente por separado. Empezamos por el primer elemento, un tubo de diámetro exterior 23.1mm, diámetro interior 10mm y longitud 18.5mm, que obtenemos por extrusión:

1. **Laminación:** Con este proceso obtenemos tres barras de dimensiones mayores a las máximas (en cada caso).
2. **Extrusión:** Se hace pasar una barra con las dimensiones adecuadas por una matriz o hilera de perfil hueco con la forma del tubo en cuestión (para mejor acabado superficial podríamos repararlo en un torno).

Seguimos por la barra de diámetro variable, que obtenemos por torneado:

1. **Laminación:** Con este proceso obtenemos una barra de dimensiones mayores a las máximas.

## 2. Torneado:

- a. **Refrentado** de la superficie delantera.
- b. **Cilindrado** de diámetro 29mm y profundidad 97mm.
- c. **Cilindrado** de diámetro 29.6mm y profundidad 0,5mm.
- d. **Torneado cónico** de diámetro 29.6mm a 18mm y profundidad 25mm.
- e. **Tronzado**.

A continuación nos centramos en el elemento con forma de prisma irregular. Para obtenerlo partimos de una preforma de dimensiones 55 x 55 x 38mm.

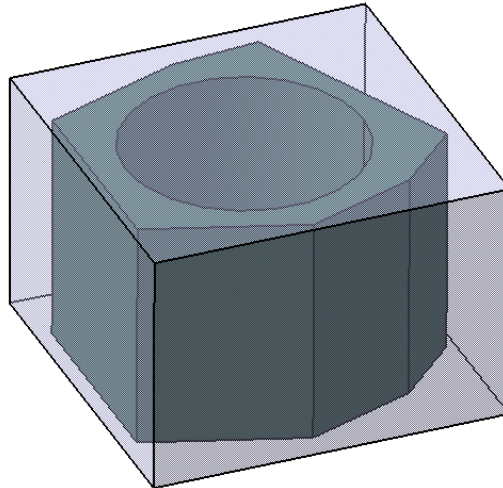


Figura 6-197. *Seat mounting frame* 11-brazo oscilante inferior: Preforma

### 1. Planeado por ambas caras (*Facing.1* y *Facing.2*):

- a. **Estrategia de mecanizado:** Ida y vuelta con una pasada de desbaste y una de acabado.
- b. **Geometría a mecanizar:** Caras superior e inferior de la preforma eliminando 1mm de material en cada cara.
- c. **Herramienta:** Fresa de planeado ASX400-100B10R de Mitsubishi Materials (Figura 6-28, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- d. **Parámetros de corte:** Los definidos para mecanizado de aleaciones de aluminio con la herramienta de corte elegida (Figura 6-29, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- e. **Macros:** Utilizamos las macros de aproximación, retirada y aclarado del usuario (6.4.1.7. *Macros en operaciones de mecanizado*).

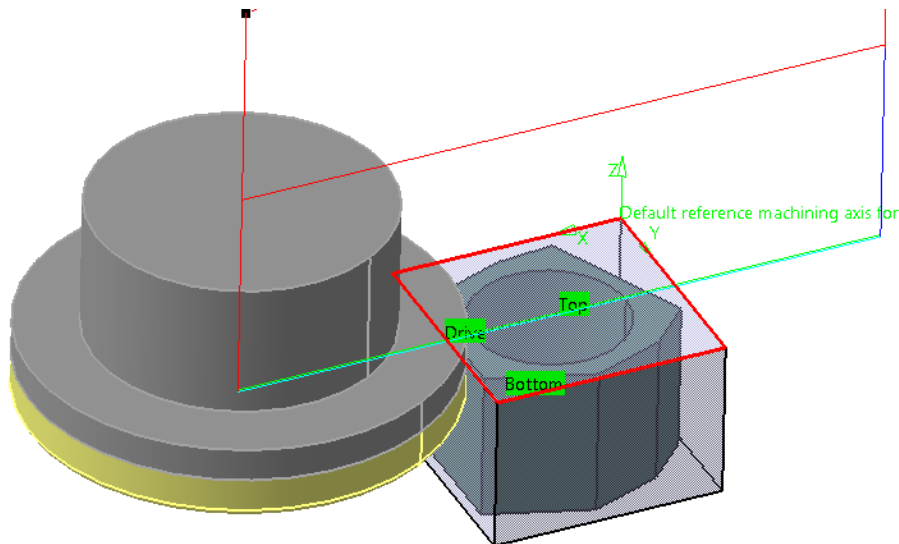


Figura 6-198. *Seat mounting frame* 11-brazo oscilante inferior: Trayectoria de planeado

## 2. Contorneado exterior (*Profile Contouring.1*):

- a. **Estrategia de mecanizado:** Zig-zag con dos pasadas de desbaste y dos de acabado (mecanizado en dos niveles axiales).
- b. **Geometría a mecanizar:** Contorno exterior.
- c. **Herramienta:** Fresa periférico-frontal VQJHVD1200 de Mitsubishi Materials (Figura 6-32, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- d. **Parámetros de corte:** Los definidos para mecanizado de aleaciones de aluminio con la herramienta de corte elegida (Figura 6-33, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- e. **Macros:** Macros de aproximación y retirada del usuario (6.4.1.7. *Macros en operaciones de mecanizado*).

En las siguientes figuras se muestran la trayectoria de mecanizado y el resultado de la operación.

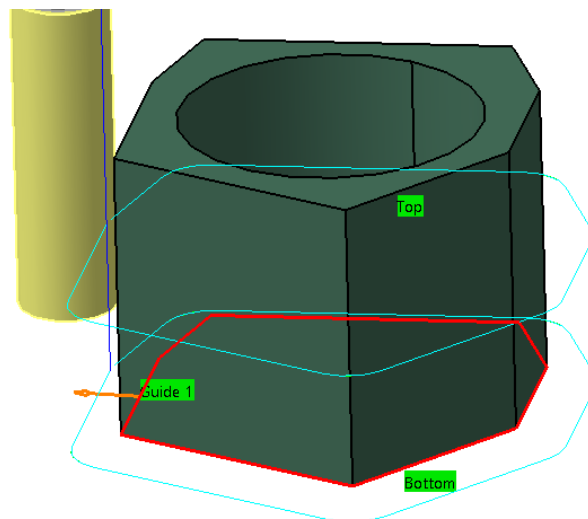


Figura 6-199. *Seat mounting frame* 11-brazo oscilante inferior: Trayectoria de contorneado



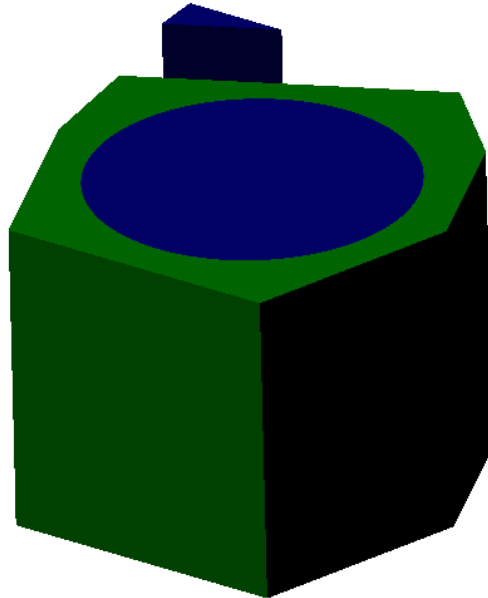


Figura 6-200. *Seat mounting frame 11-brazo oscilante inferior*: Resultado de contorneado

### 3. Contorneado interior (*Profile Contouring.1*):

- a. **Estrategia de mecanizado:** Zig-zag con dos pasadas de desbaste y dos de acabado (mecanizado en dos niveles axiales).
- b. **Geometría a mecanizar:** Contorno exterior de ambas partes.
- c. **Herramienta:** Fresa periférico-frontal VQJHVD1200 de Mitsubishi Materials (Figura 6-32, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- d. **Parámetros de corte:** Los definidos para mecanizado de aleaciones de aluminio con la herramienta de corte elegida (Figura 6-33, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- e. **Macros:** Macros de aproximación y retirada del usuario (6.4.1.7. *Macros en operaciones de mecanizado*).

En las siguientes figuras se muestran la trayectoria de mecanizado y el resultado de la operación.

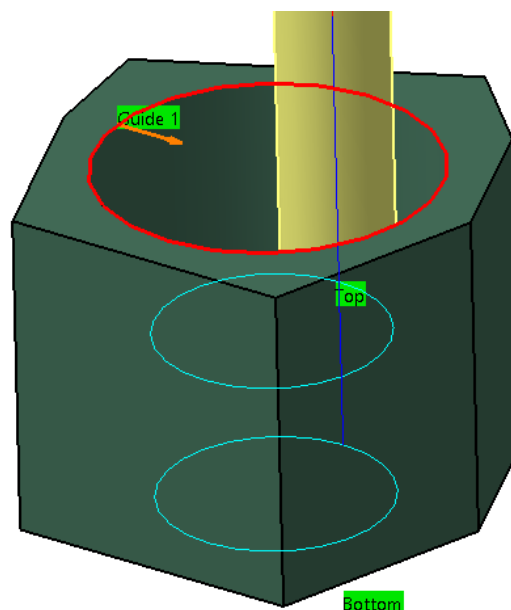


Figura 6-201. *Seat mounting frame 11-brazo oscilante inferior*: Trayectoria de contorneado

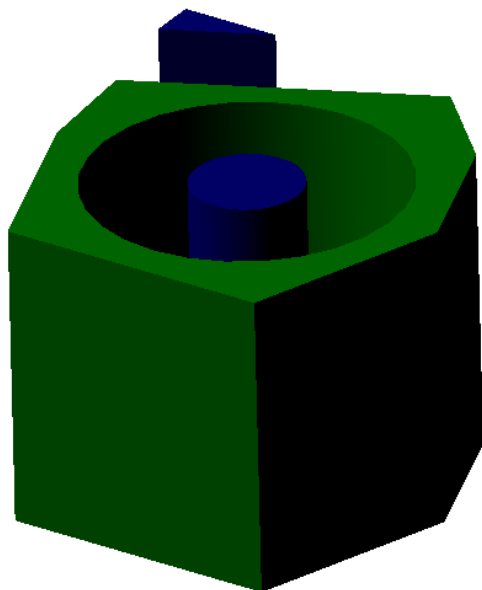


Figura 6-202. *Seat mounting frame* 11-brazo oscilante inferior: Resultado de contorneado

Una vez obtenidos todos los elementos, procedemos con las operaciones de **soldadura** (tres operaciones en total).

#### 6.6.2.1.9.11 Mecanismo de ajuste de altura del asiento

Es el mecanismo del que dispone el piloto para regular la posición del asiento. En el avión original se trata de una pieza muy similar al brazo oscilante inferior, con la diferencia de que dispone de una rueda marcada con varias posiciones de reposo sobre las que se coloca una pieza del mando de acción. Este mando de acción es muy similar al freno de mano de un coche.

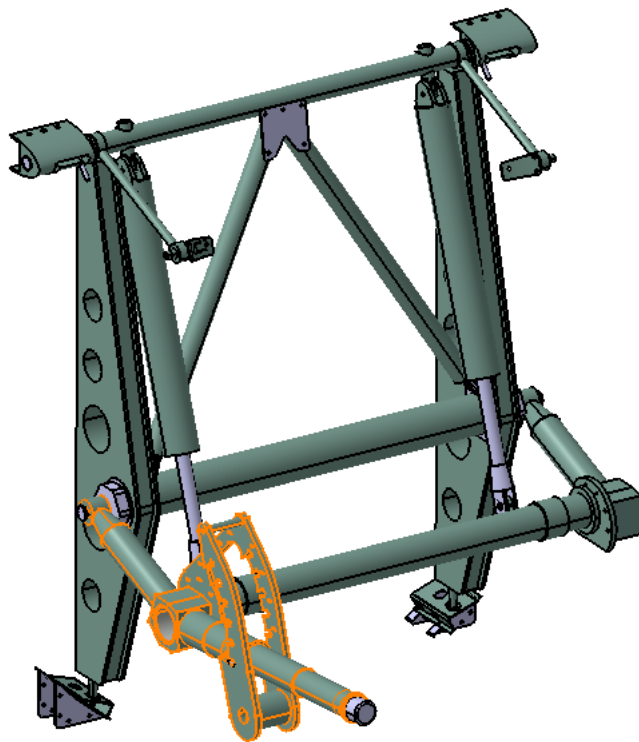


Figura 6-203. *Seat mounting frame* 11: Sistema de ajuste en el entorno del sistema

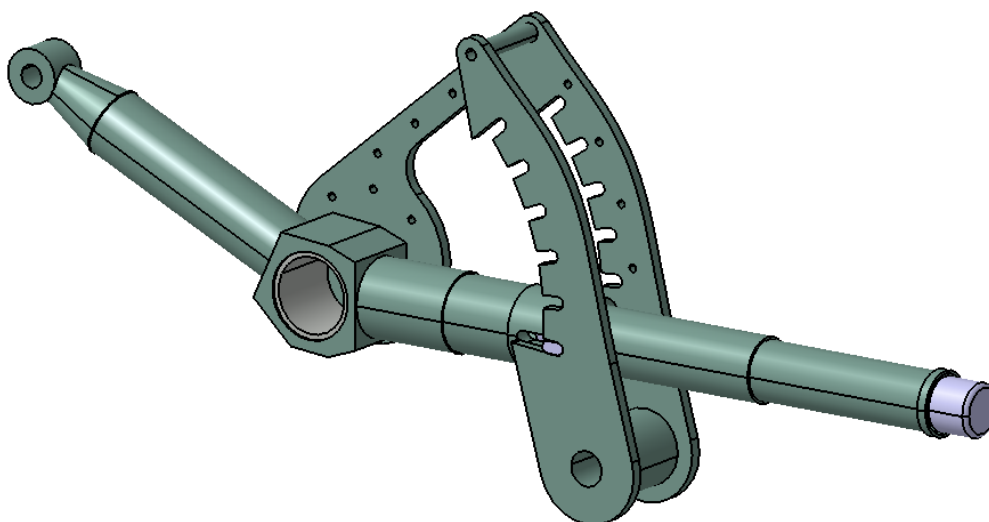


Figura 6-204. *Seat mounting frame 11*: Sistema de ajuste modelado en CATIA

En nuestro caso, optamos por reparar la pieza original si se encuentra en buenas condiciones, o bien, recurrir a un proveedor especializado que nos suministre el mecanismo en cuestión o una alternativa que cumpla con la misma funcionalidad.

#### 6.6.2.1.9.12 Pestillo

Se utilizan dos pestillos, uno a cada lado de la estructura, para la fijación de la misma en la zona superior. Estos pestillos se colocan sobre la barra horizontal que recorre la cuaderna 11 y al cerrarlos fijan las partes principales del sistema de fijación del asiento al alojarse en los huecos laterales de la barra superior. A continuación se muestran varias imágenes representativas de la funcionalidad de los mismos:

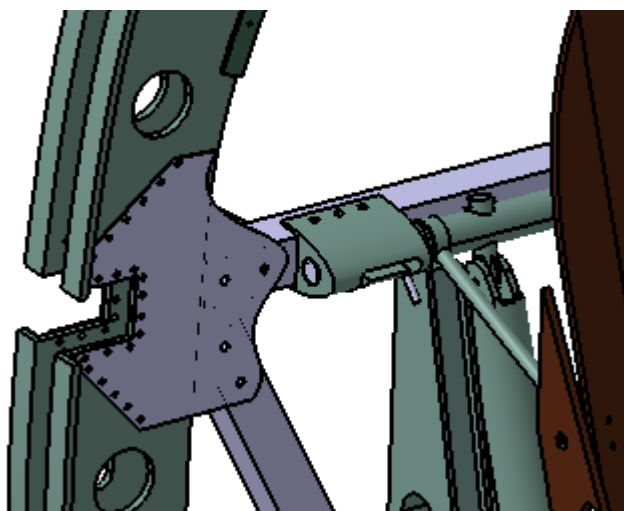


Figura 6-205. *Seat mounting frame 11*: Pestillo en el entorno de la cuaderna 11

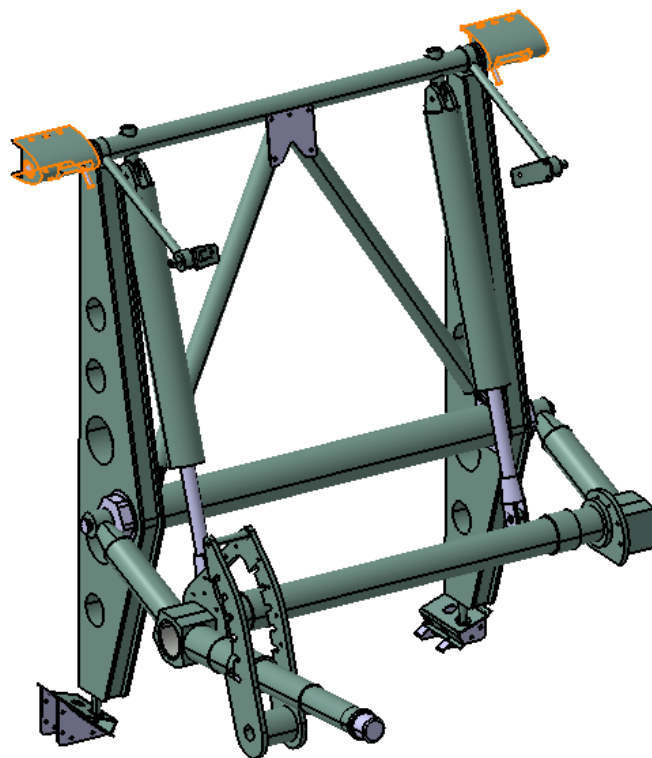


Figura 6-206. *Seat mounting frame 11*: Pestillos en el entorno del sistema

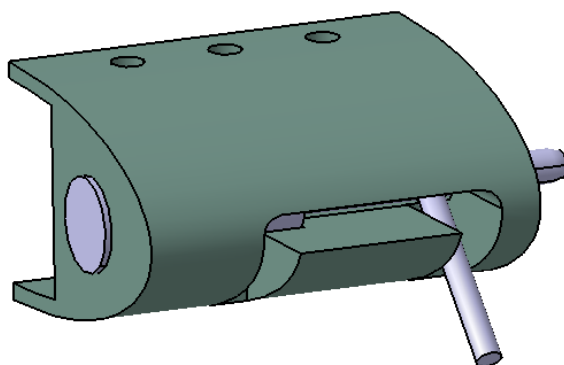


Figura 6-207. *Seat mounting frame 11*: Pestillo modelado en CATIA

Para la obtención de estos elementos, recurrimos a proveedores especializados, o bien, recuperamos los elementos originales si están en buenas condiciones.

#### 6.6.2.1.9.13 Sistema de amortiguación

Este sistema es el que permite que las acciones del piloto sobre el movimiento del asiento, se traduzcan en movimientos reales. Se tienen dos amortiguadores, uno a cada lado. Su recorrido tiene que ser consistente con los movimientos que debe cubrir el asiento.

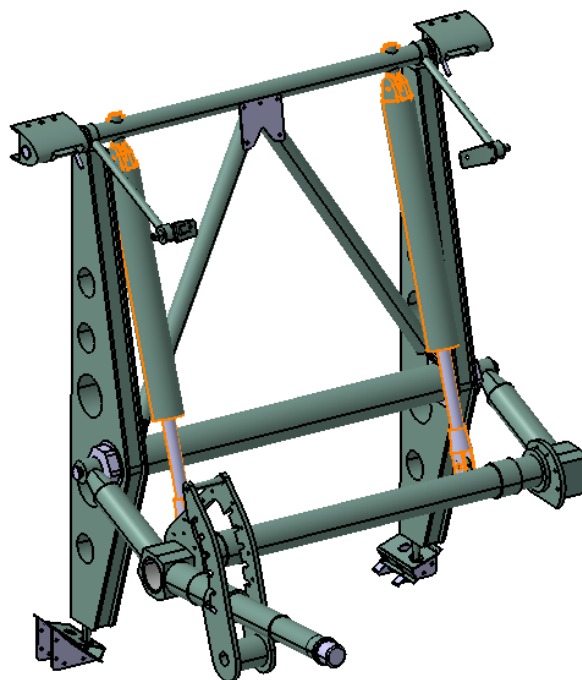


Figura 6-208. *Seat mounting frame 11*: Sistemas de amortiguación en el entorno del sistema

Al tratarse de un sistema con unas características muy específicas, encargaremos su fabricación o reparación a un proveedor especializado. El proveedor se basará en los requerimientos definidos para el movimiento del asiento.

#### 6.6.2.1.10 Asiento

El asiento es de aluminio, con las convenientes protecciones y elementos extras para dar ergonomía y proporcionar comodidad al piloto en travesías largas.

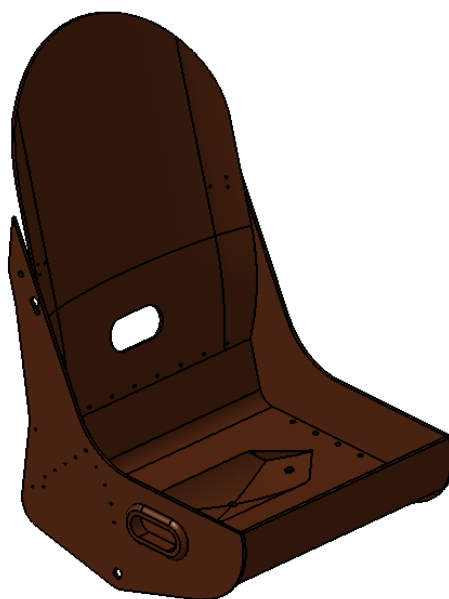


Figura 6-209. Asiento modelado en CATIA

La fabricación o reacondicionamiento del asiento se encargará a un proveedor especializado.

#### 6.6.2.1.11 Ensamblaje cuaderna 11

El ensamblaje de la cuaderna 11 es un proceso largo motivado por el gran número de componentes que la forman. En este apartado trataremos de exponer de forma ordenada y con el mayor detalle posible las operaciones que debemos llevar a cabo.

1. **Remachado** de las chapas que recorren el contorno interior y las chapas frontales, para hacer que todas conjuntamente formen la denominada sección 11. Esta operación se lleva a cabo mediante el uso de remaches ciegos de 2.38mm y la remachadora hidroneumática correspondiente con la boquilla adecuada.

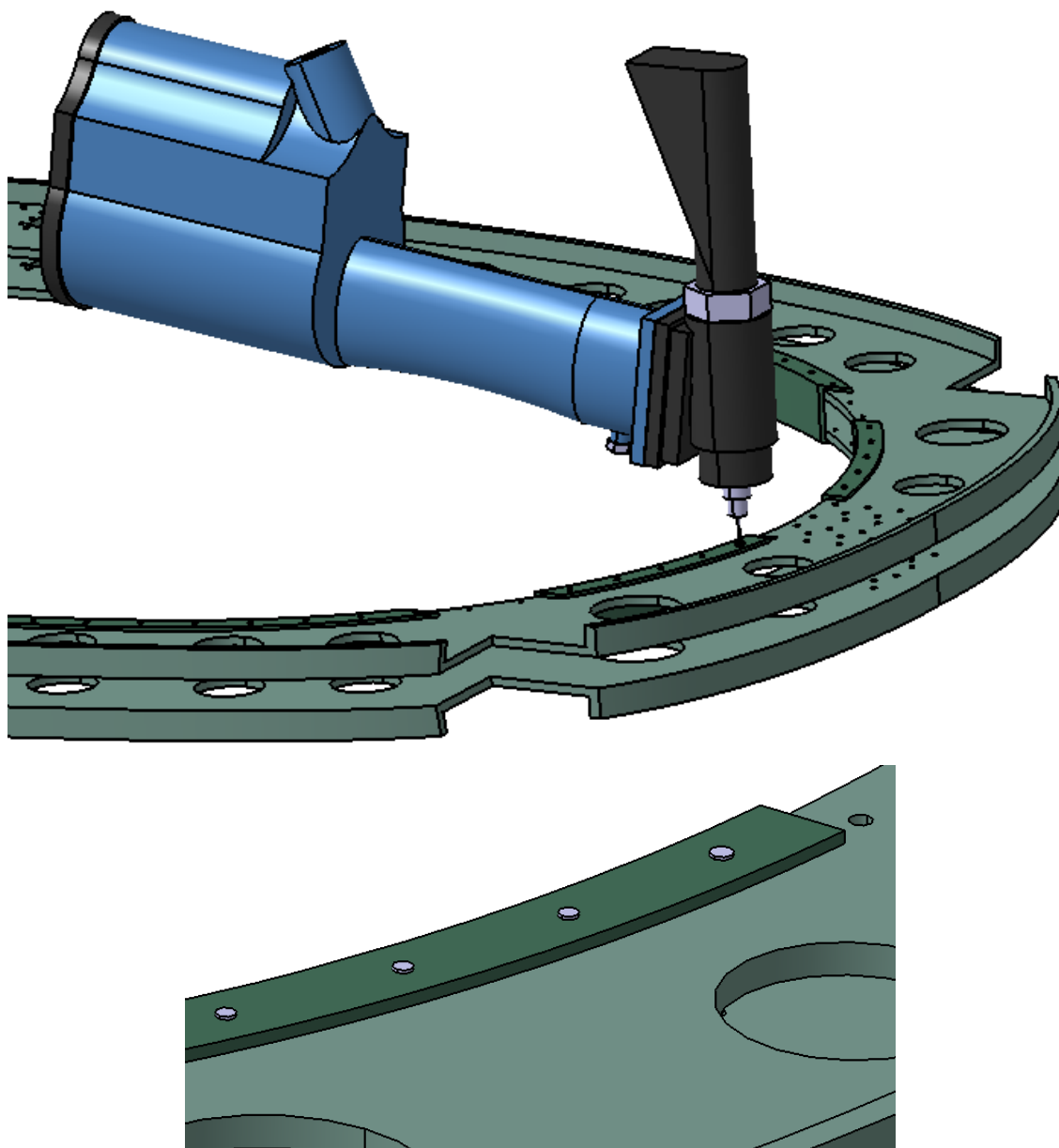


Figura 6-210. Cuaderna 11: Remachado sección 11

2. **Remachado** de los refuerzos inferiores, laterales y superior mediante remaches ciegos de diámetro 3.5mm.

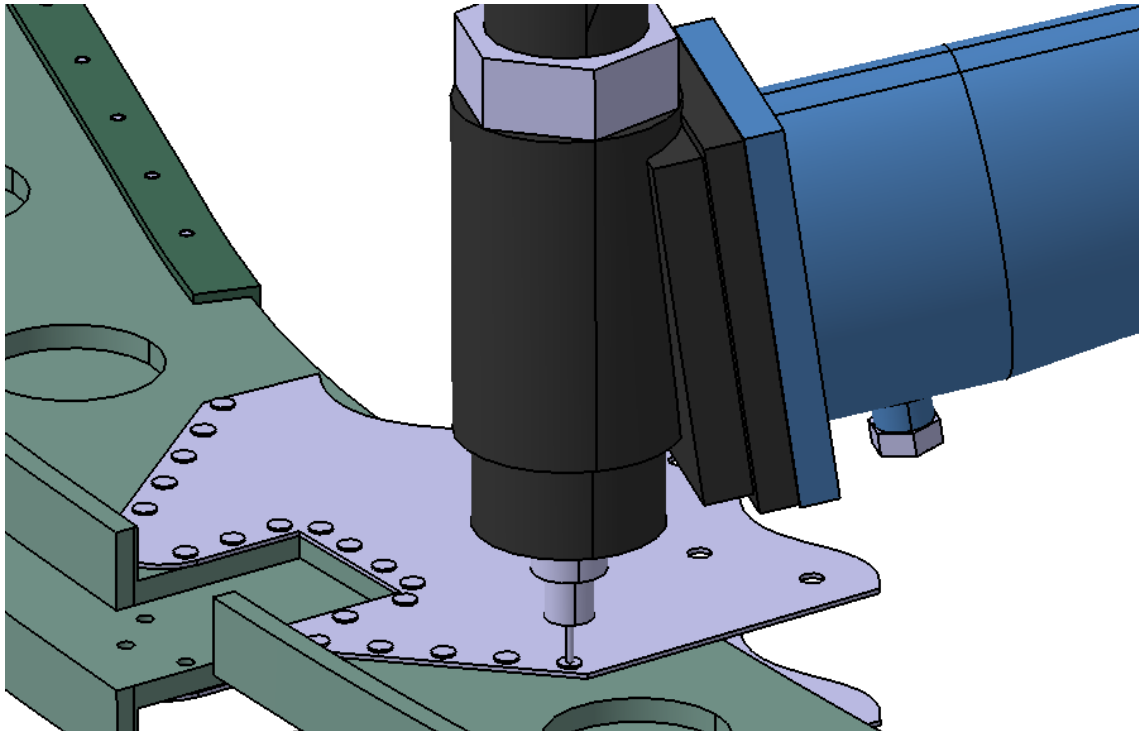


Figura 6-211. Cuaderna 11: Remachado refuerzos

3. **Atornillamos** la barra horizontal y las diagonales. Para ello usamos tornillos de diámetro 5mm y largo 40mm más las correspondientes tuercas y arandelas.

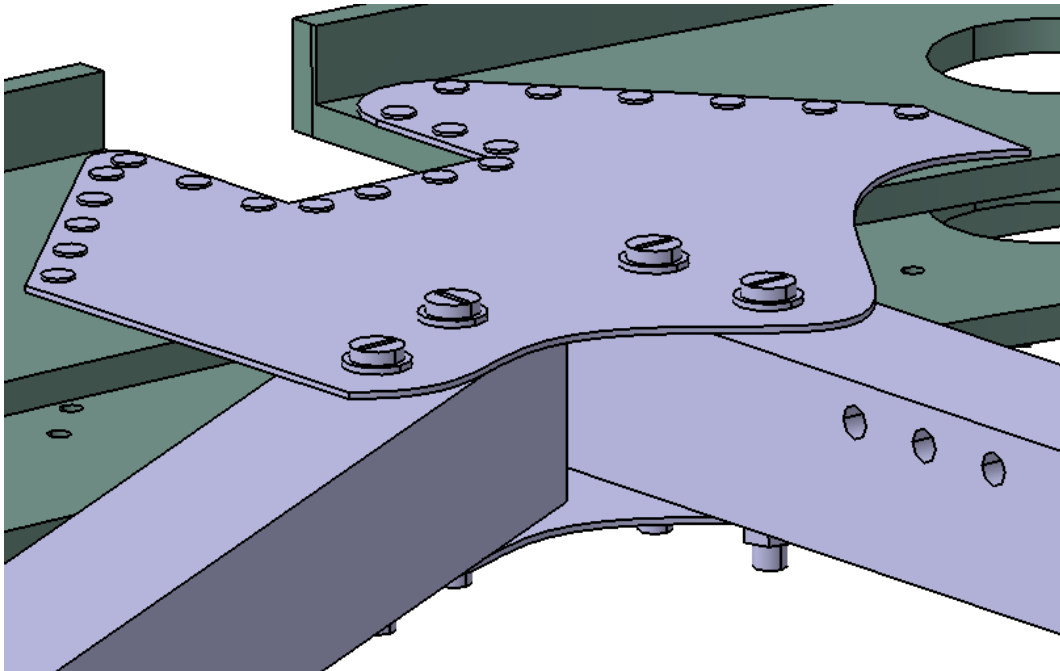


Figura 6-212. Cuaderna 11: Unión atornillada barras

4. **Atornillamos** los pestillos con tornillos de diámetro 5mm y largo 50mm más las correspondientes tuercas.

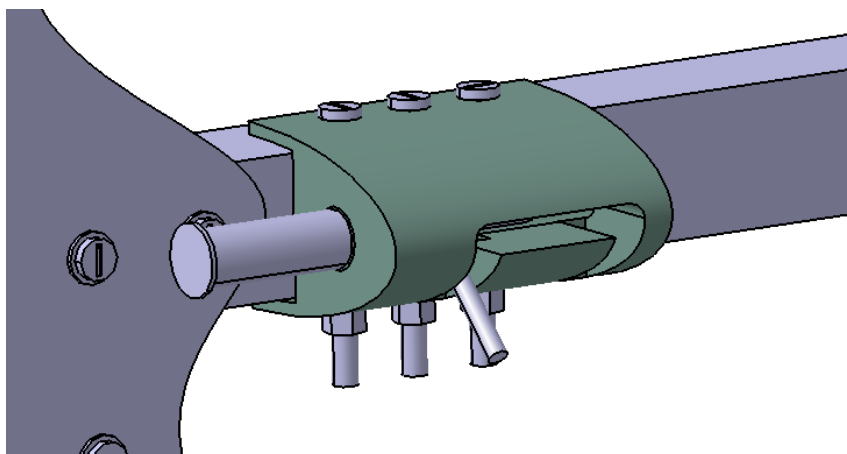


Figura 6-213. Cuaderna 11: Unión atornillada pestillos

5. **Atornillamos** la placa armadura que protege la cabeza del piloto mediante tornillos de diámetro 5mm y largo 20mm más las correspondientes tuercas y arandelas. Sobre esta **soldamos** el agarre del cinturón (un fallo de diseño no nos permite fijar mediante remachado o unión atornillada).

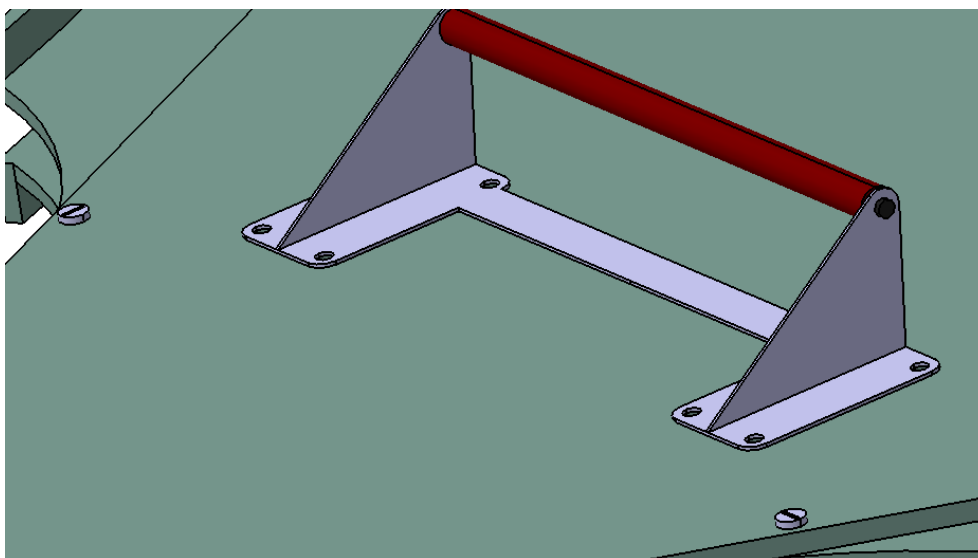


Figura 6-214. Cuaderna 11: Unión atornillada placa armadura

6. Acoplamos la estructura de sujeción del asiento. Para ello debemos **remachar** las sujeciones inferiores con remaches ciegos de 3.5mm, sobre las que colocamos la parte inferior de la estructura. En la parte superior fijamos con los pestillos.



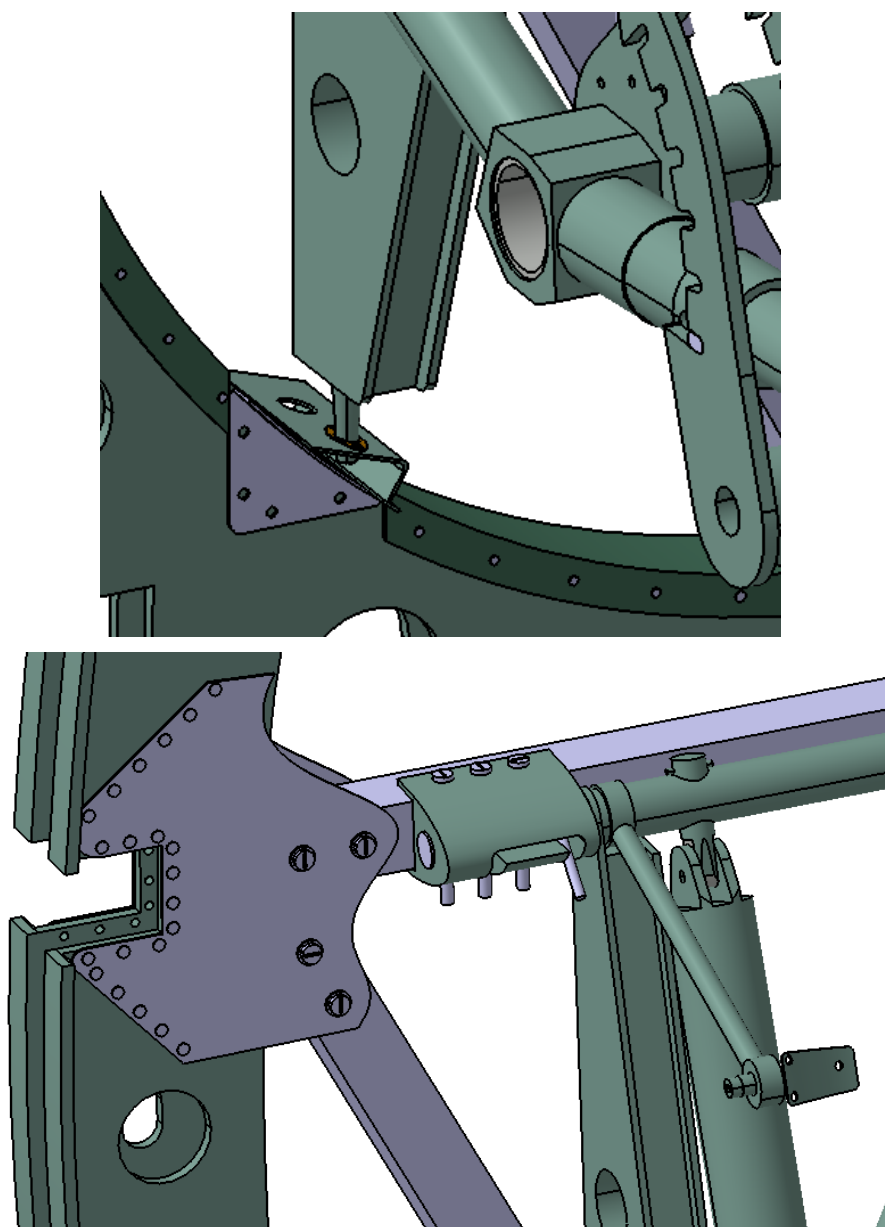


Figura 6-215. Cuaderna 11: Acoplamiento estructura asiento

7. Por último unimos el asiento mediante el sistema de fijación que se crea conveniente.

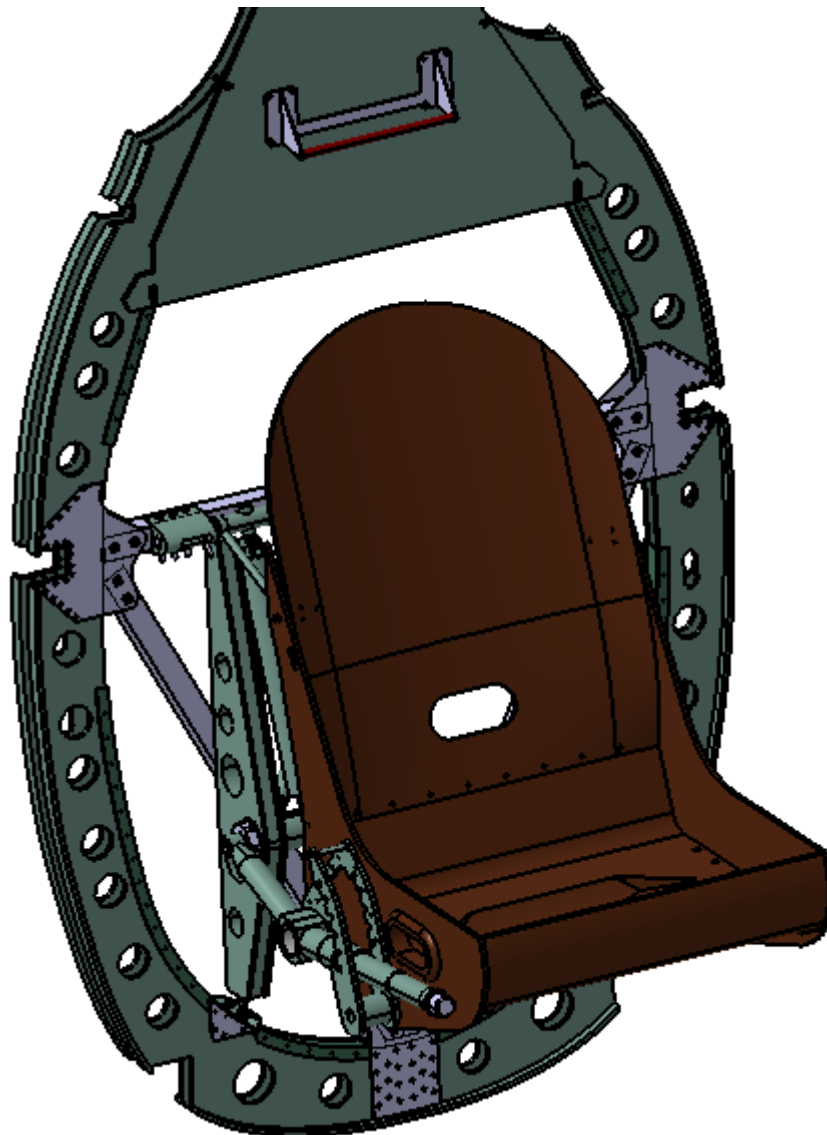


Figura 6-216. Cuaderna 11: Asiento fijado

Los componentes que forman la estructura de sujeción del asiento se unen fundamentalmente por uniones atornilladas simples. Obviamos el propio ensamblaje de esta estructura.

Nota: el modelado de los tornillos, tuercas, arandelas y remaches es una ampliación llevada a cabo como parte del TFM.

6.6.2.1.11.1 Ensamblaje cuaderna 11: Máquinas y herramientas utilizadas

Véase apartados **6.3.4 Máquinas** y **6.3.5.5 Herramientas seleccionadas**.

- Remachadora neumática para remaches ciegos.
  - Boquilla adecuada para el remache.

### 6.6.2.2 Cuaderna 9

Para la cuaderna 9 procedemos de igual manera a como hacíamos con la 11, es decir, detallando el proceso completo mediante el que obtenemos la cuaderna. Lo hacemos por su diseño, ligeramente diferente y al que se asemejan las cuadernas 6,10 y 18a (el resto son muy similares a la 11), y también por las piezas remachadas en su parte inferior que forman parte del mecanismo de los pedales.

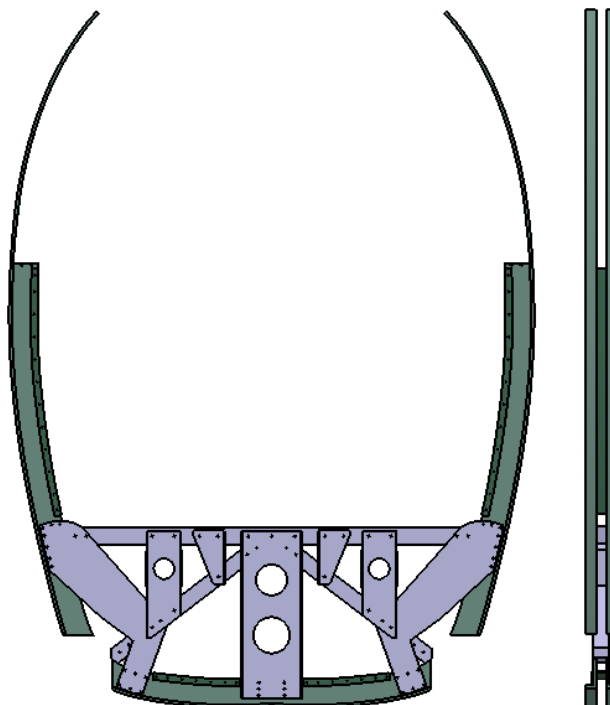


Figura 6-217. Cuaderna 9 modelada en CATIA

#### 6.6.2.2.1 Sección 9 (rediseñada)

Llamamos sección 9 al marco de la cuaderna 9, el cual está compuesto por dos chapas de aluminio, unidas mediante el remachado de cuatro más.

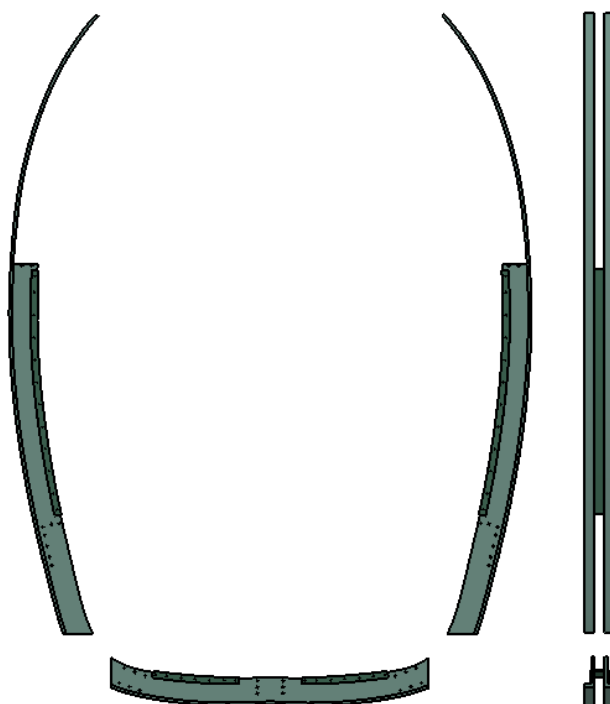


Figura 6-218. Sección 9 modelada en CATIA

Durante el desarrollo del TFG diseñamos esta sección como una única chapa de 27mm de espesor, con una chapa perimetral que sigue el contorno exterior y que nos sirve de base para el remachado de las pieles. Al igual que ocurre con la cuaderna 11, procedemos a rediseñar la denominada sección 9 para adecuarla a las características de una pieza real.

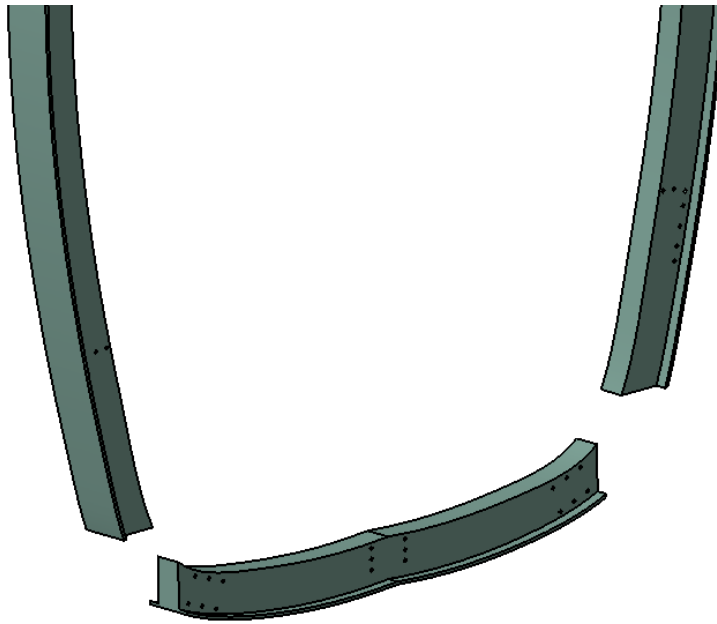


Figura 6-219. Sección 11: Diseño erróneo

El remodelado sigue las mismas pautas que el de la sección 11, por lo que la nueva sección 9 será un *CATProduct* formado por seis chapas (las chapas anterior y posterior más las cuatro de unión). El modelado de las caras anterior y posterior lo hacemos a partir del antiguo diseño, introduciendo los siguientes cambios:

- Cambio de espesor en la operación de extrusión (*Pad.1*) de 27 a 5mm.
- Pequeño cambio en la sección de la operación *Rib.1*, para obtener la chapa perimetral sobre la que se remachan las pieles. Hacemos que la chapa perimetral sobresalga lo mismo desde la chapa frontal, es decir, 11.5mm y su espesor pasa de 3 a 5mm (en consonancia con el espesor de las chapas frontales).

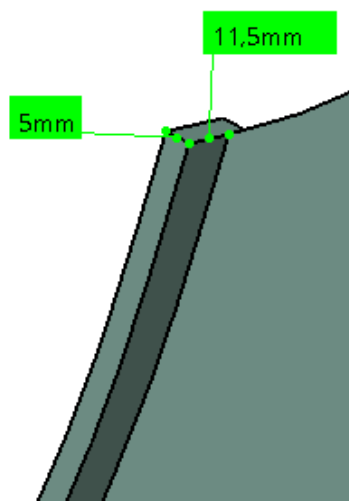


Figura 6-220. Sección 9: Cambio en la operación *Rib.1*

- Adición de una nueva operación de vaciado (*Pocket.4*) para el remachado con la chapa intermedia. Se trata de taladros de 2.5mm de diámetro.

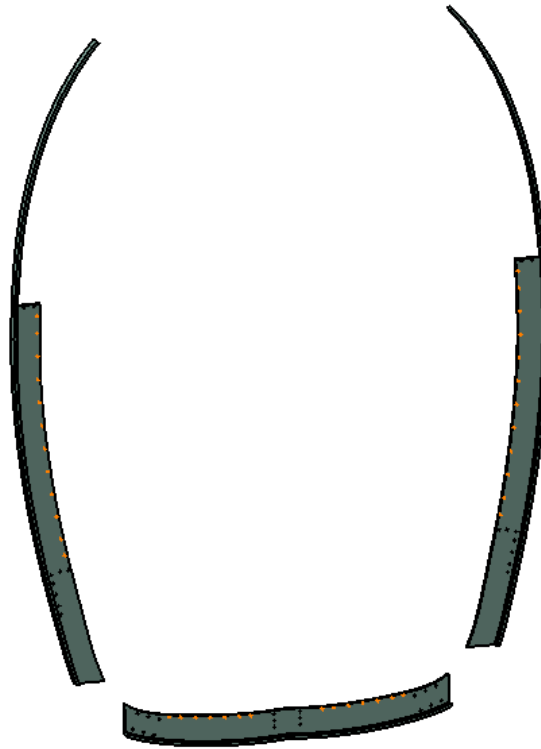


Figura 6-221. Sección 9: Vaciado para remachado de chapas

Para el modelado de las chapas de unión (dos para la parte central y dos para la parte inferior), tomamos como referencia las operaciones de diseño explicadas de forma detallada en el apartado **6.6.2.1.1 Sección 11 (rediseñada)**.



Figura 6-222. Sección 9: Chapas de unión de la parte central modeladas en CATIA



Figura 6-223. Sección 9: Chapas de unión de la parte inferior modeladas en CATIA

Ahora nos centramos en el proceso de fabricación seguido comenzando por las chapas frontales. Al igual que ocurría en la sección 11, debemos dejar un margen que nos permita el doblado de chapa en los extremos tras finalizar las operaciones de mecanizado en CNC.

A continuación, enumeramos las operaciones de mecanizado que seguiremos para la obtención de la sección 9. Partimos de una preforma de dimensiones 900 x 760 x 7mm.

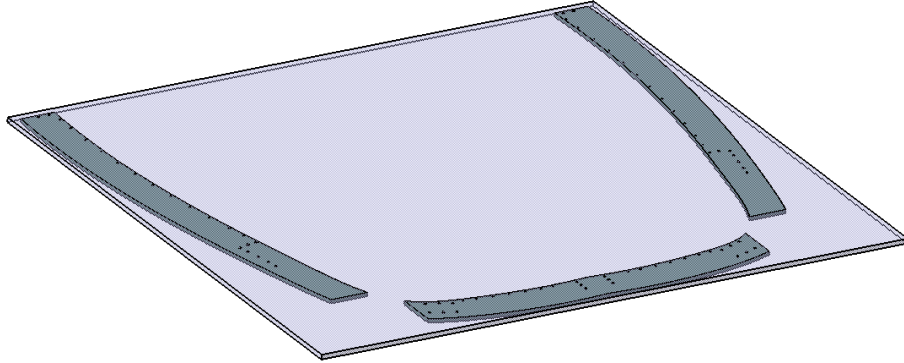


Figura 6-224. Sección 9: Preforma

Podríamos obtener las tres piezas por separado, pero lo hacemos en conjunto para mostrar la sección al completo.

#### 1. Planeado por ambas caras (*Facing.1* y *Facing.2*):

- a. **Estrategia de mecanizado:** Ida y vuelta con una pasada de desbaste y una de acabado.
- b. **Geometría a mecanizar:** Caras superior e inferior de la preforma, eliminando 1mm de material en cada cara.
- c. **Herramienta:** Fresa de planeado ASX400-100B10R de Mitsubishi Materials (Figura 6-28, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- d. **Parámetros de corte:** Los definidos para mecanizado de aleaciones de aluminio con la herramienta de corte elegida (Figura 6-29, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- e. **Macros:** Utilizamos los macros de aproximación, retirada y aclarado del usuario (6.4.1.7. *Macros en operaciones de mecanizado*).

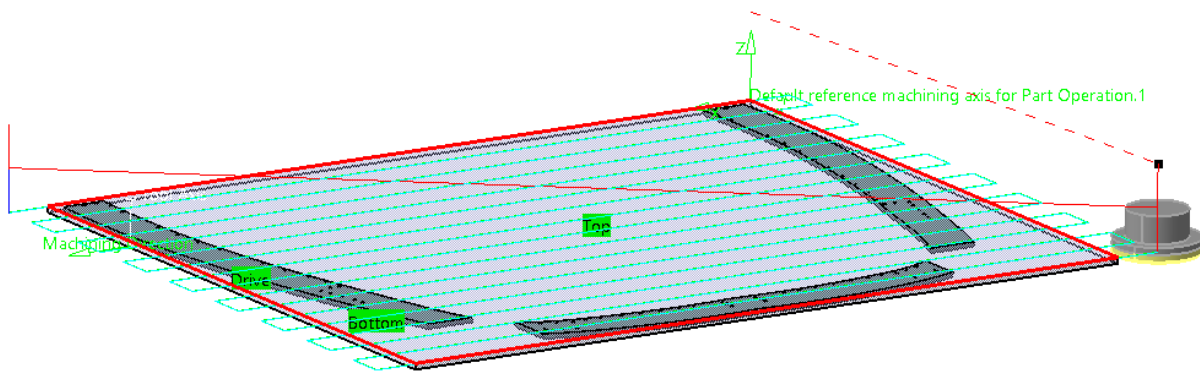


Figura 6-225. Sección 9-chapa frontal: Trayectoria de planeado

#### 2. Contorneado exterior (*Profile Contouring.1*):

- a. **Estrategia de mecanizado:** Zig-zag con dos pasadas de desbaste y dos de acabado (mecanizado en dos niveles axiales).
- b. **Geometría a mecanizar:** Contorno exterior del marco metálico.
- c. **Herramienta:** Fresa periférico-frontal AM2MBR0200A060 de Mitsubishi Materials (Figura 6-36, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- d. **Parámetros de corte:** Los definidos para mecanizado de aleaciones de aluminio con la herramienta de corte elegida (Figura 6-37, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).

- e. **Macros:** Macros de aproximación y retirada del usuario (6.4.1.7. *Macros en operaciones de mecanizado*).

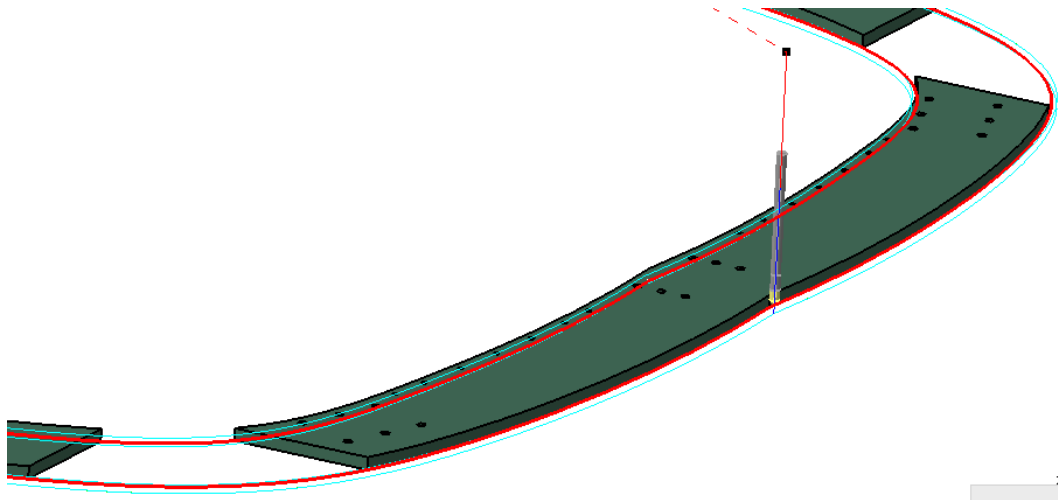


Figura 6-226. Sección 9-chapa frontal: Trayectoria de contorneado exterior

### 3. Contorneado interior (*Profile Contouring.2-Profile Contouring.3*):

- Estrategia de mecanizado:** Zig-zag con dos pasadas de desbaste y dos de acabado (mecanizado en dos niveles axiales).
- Geometría a mecanizar:** Contornos interiores del marco metálico (para dividir en 3 partes).
- Herramienta:** Fresa periférico-frontal AM2MBR0200A060 de Mitsubishi Materials (Figura 6-36, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- Parámetros de corte:** Los definidos para mecanizado de aleaciones de aluminio con la herramienta de corte elegida (Figura 6-37, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- Macros:** Macros de aproximación y retirada del usuario (6.4.1.7. *Macros en operaciones de mecanizado*).

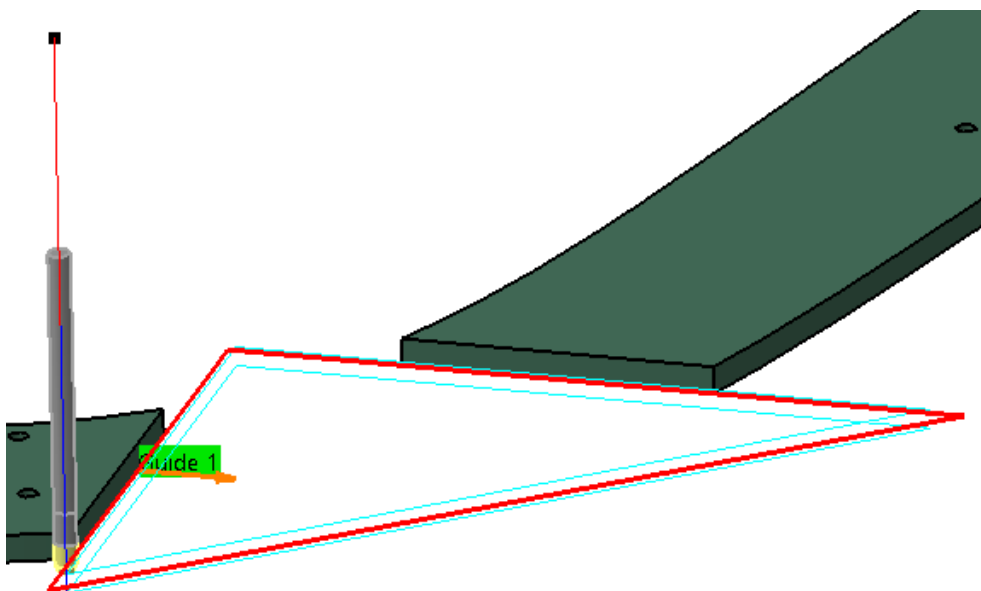


Figura 6-227. Sección 9-chapa frontal: Trayectoria de contorneado interior

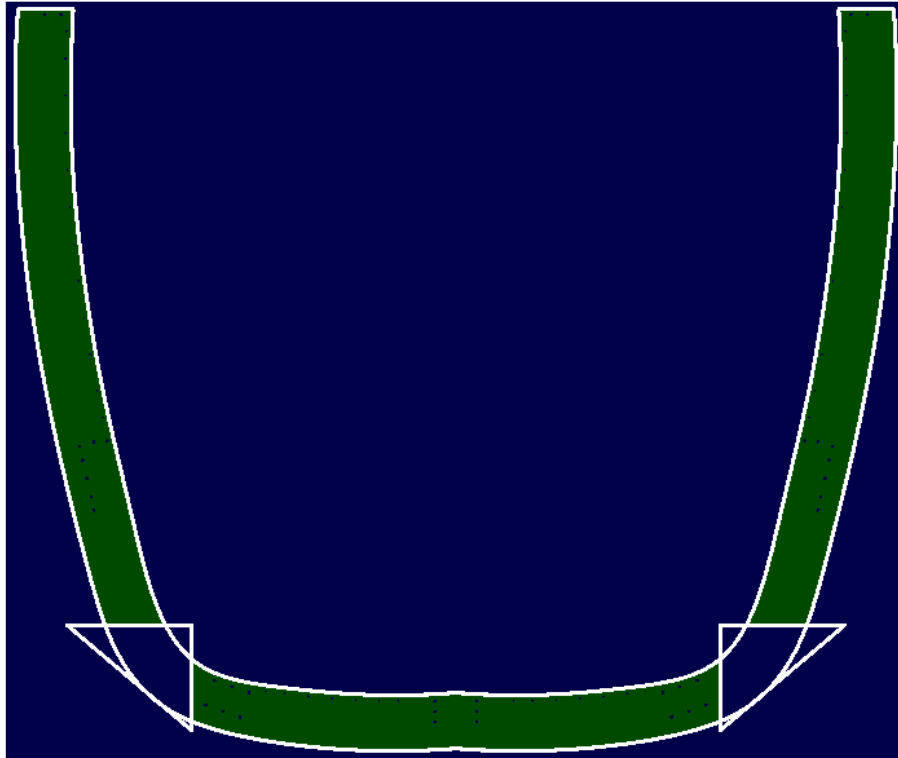


Figura 6-228. Sección 9-chapa frontal: Resultado de contorneado

#### 4. Taladrado y escariado (*Drilling.1- Drilling.2, Reaming.1*):

- a. **Estrategia de mecanizado:** Seguimos una secuencia de taladrado que aumenta progresivamente el diámetro del agujero para asegurar la calidad del resultado y posteriormente usamos un escariador para dar buen acabado superficial. La secuencia para el mayor diámetro es: 2.5-3.5mm. Transición entre agujeros a 10mm de la pieza.
- b. **Geometría a mecanizar:** Los agujeros de diámetro 2.5 y 3.5mm.
- c. **Herramientas:** Utilizaremos las brocas de UNCETA A2 2297 D2.5 y A2 2297 D3.5 y los escariadores UNCETA A6 6260 D3.5 (Figuras 6-42 a 6-50 apartado **6.3.3.5 Herramientas seleccionadas**).
- d. **Parámetros de corte:** Los definidos para mecanizado de aleaciones de aluminio con las herramientas de corte elegidas (Tabla 6-1, apartado **6.3.3.5 Herramientas seleccionadas**).
- e. **Macros:** Macros de aproximación y retirada del usuario (**6.4.1.7. Macros en operaciones de mecanizado**).

Se muestra a continuación la trayectoria de taladrado para el primer paso de la secuencia (por el que deben pasar todos los taladros independientemente de su diámetro) y el resultado obtenido al final del proceso.

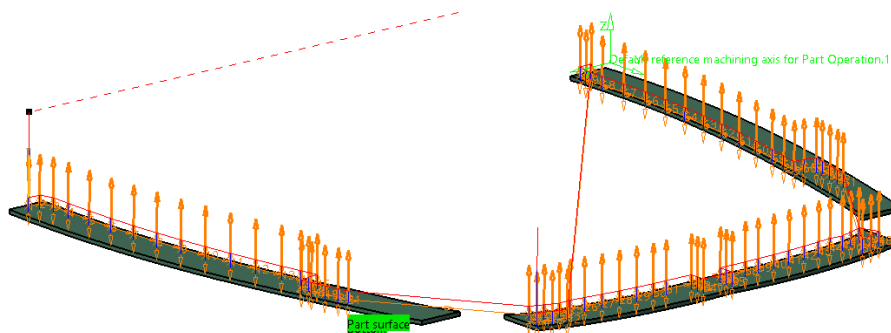


Figura 6-229. Sección 9-chapa frontal: Trayectoria de taladrado



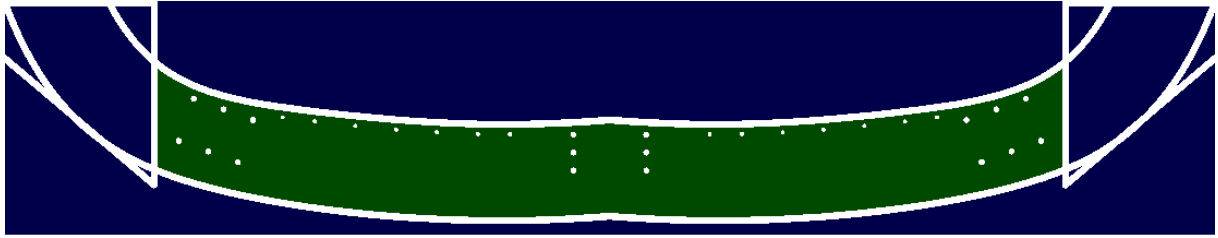


Figura 6-230. Sección 9-chapa frontal: Resultado de taladrado

4. **Doblado de chapa:** Doblamos el margen exterior de las superficies planas anterior y posterior para obtener la chapa perimetral que permite remachar la cuaderna con las pieles.

Explicamos a continuación la secuencia para obtener las chapas de unión, partiendo de preformas de ancho 52mm, espesor 7mm y largo variable, dependiendo del caso.

1. **Planeado por ambas caras (no implementado):** En las caras superior e inferior de la preforma, eliminando 1mm de material en cada una.
2. **Doblado de chapa:** Se realizan 3 operaciones de doblado de chapa, una para adaptar la forma de la misma al contorno interior y otras dos para obtener los bordes sobre los que se taladra y remacha.
3. **Taladrado:** Se taladran los agujeros que soportan la unión remachada entre chapas. Estos agujeros tiene diámetro 2.38mm.

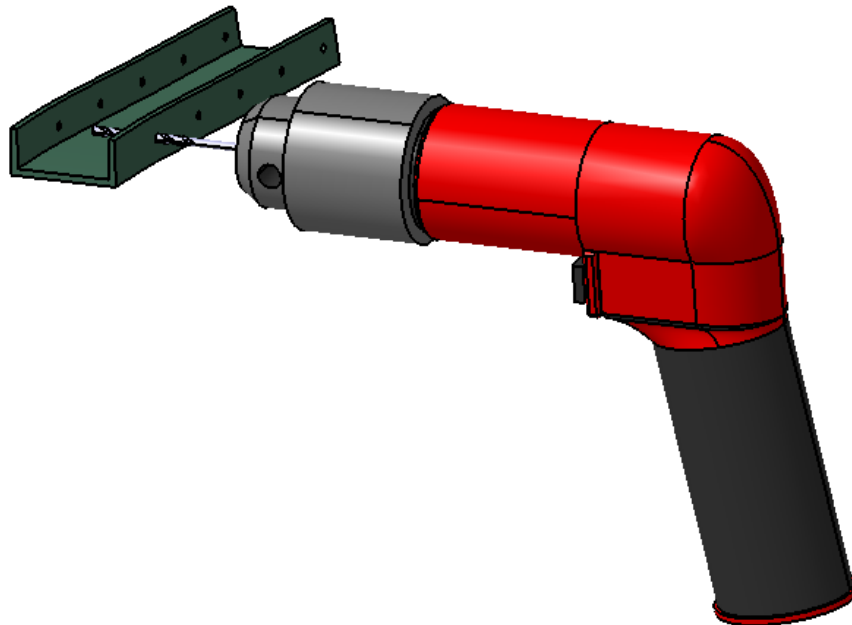


Figura 6-231. Sección 9-chapa unión: Operación de taladrado

#### 6.6.2.2.2 Barra horizontal 9 (rediseñada)

Esta barra se usa como refuerzo estructural, para aportar rigidez a la estructura (especialmente a flexión y torsión). Se ha realizado una labor de rediseño, pasando de una barra maciza de perfil cuadrado a un tubo de perfil cuadrado y espesor 4mm para aligerar peso.

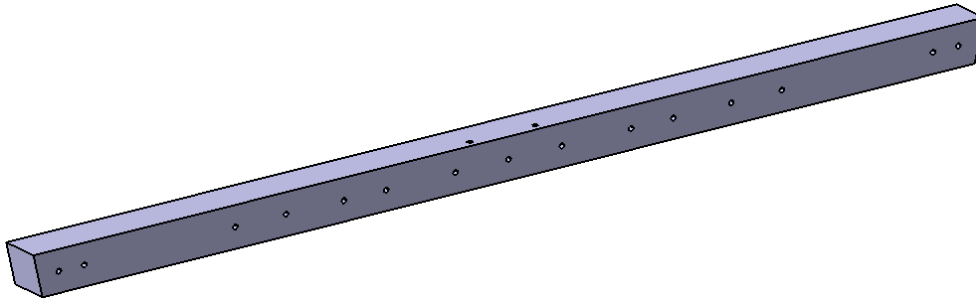


Figura 6-232. Barra horizontal 9: Diseño erróneo

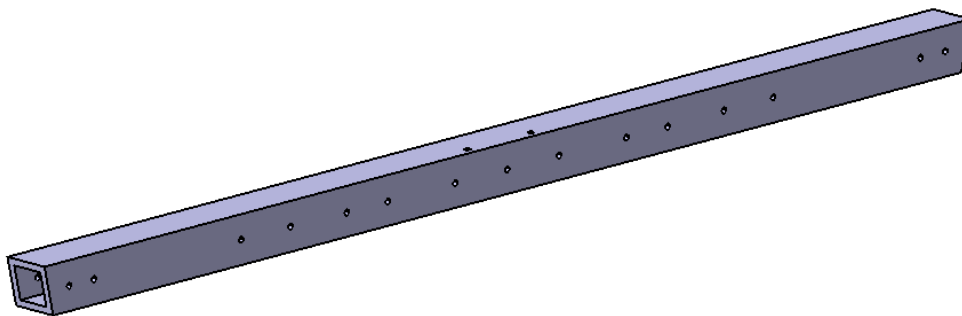


Figura 6-233. Barra horizontal 9 rediseñada en CATIA

Para realizar esta corrección en el diseño simplemente debemos añadir la operación *Shell.1* especificando un espesor de 4mm, o bien, modificar las propiedades de la operación de extrusión (*Pad*) correspondiente especificando el espesor que corresponda. Obtenemos una barra con perfil cuadrado de lado 27mm y longitud 682mm.

Al tratarse de un componente comercial, lo encargamos a un proveedor especializado. No obstante, el proceso de fabricación de un componente de estas características podría ser el que sigue:

1. **Laminación:** Obtenemos una barra que servirá de preforma para la obtención del tubo cuadrado.
2. **Extrusión:** Se hace pasar la barra anteriormente obtenida por una matriz o hilera de perfil hueco con la forma del tubo en cuestión.
3. **Corte de tubo:** Cortamos el tubo en sus extremos con la orientación de corte adecuada, obteniendo la forma y longitud final.

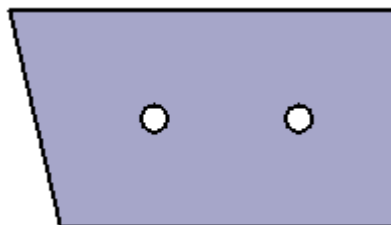


Figura 6-234. Barra horizontal 9: Detalle de operación de corte

#### 4. Taladrado (*Drilling.1-Drilling.3*):

- a. **Estrategia de mecanizado:** Utilizamos las secuencias de taladrado 2.5-3.5mm. Como las herramientas de corte no tienen la longitud de corte suficiente para perforar todo el tubo, hacemos los agujeros de una cara, giramos la pieza y hacemos los de la otra (así para cada una de las cuatro caras perforadas). No realizamos operaciones de escariado, puesto que en esta pieza no tiene demasiada importancia el acabado superficial. Transición entre agujeros a 10mm

de la pieza.

- b. **Geometría a mecanizar:** Los agujeros de diámetro 3.5mm.
- c. **Herramientas:** Tomamos como referencia las brocas A2 2297 D2.5 y A2 2297 D3.5 de UNCETA (Figuras 6-42 a 6-50 apartado **6.3.3.5 Herramientas seleccionadas**).
- d. **Parámetros de corte:** Los definidos para mecanizado de aleaciones de aluminio con la herramienta de corte elegida (Tabla 6-1, apartado **6.3.3.5 Herramientas seleccionadas**).
- e. **Macros:** Macros de aproximación, retirada y aclarado del usuario (**6.4.1.7. Macros en operaciones de mecanizado**).



Figura 6-235. Barra horizontal 9: Resultado de taladrado

#### 6.6.2.2.3 Barra diagonal 9

Tiene la misma finalidad que la barra horizontal y se somete al mismo proceso de rediseño, obteniendo el resultado que se muestra en la imagen:

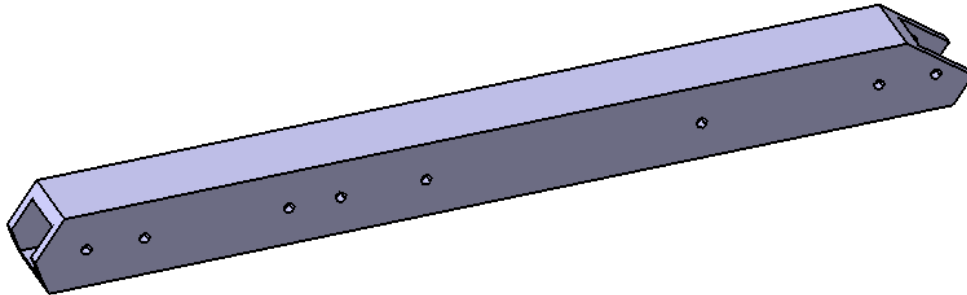
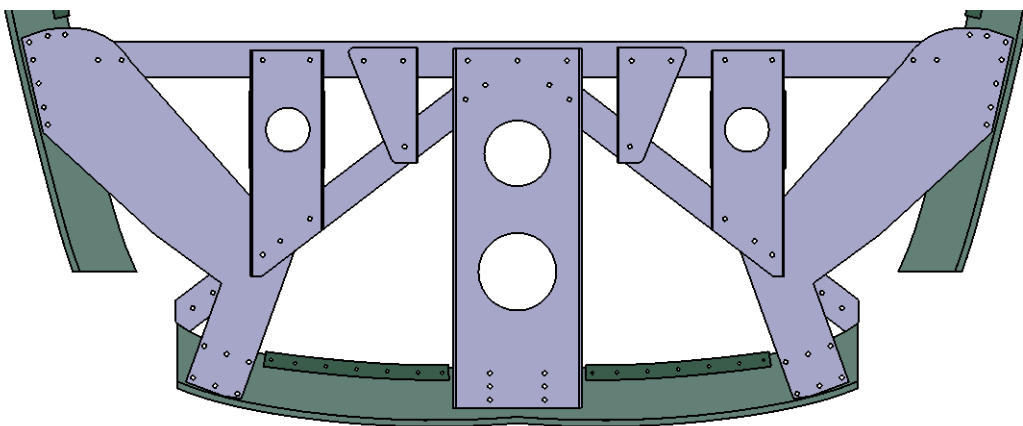


Figura 6-236. Barra diagonal 11 rediseñada en CATIA

Para más información del proceso de fabricación véase el **apartado 6.6.2.1.5 Barra horizontal 11**.

#### 6.6.2.2.4 Refuerzos inferiores 9

Se trata de nueve piezas de aluminio de cinco tipos diferentes. Todas tienen 1mm de espesor, situándose siete en la parte anterior y dos en la parte posterior. Estas chapas tienen meramente funciones estructurales, a excepción de cuatro de ellas que además forman parte del mecanismo asociado a los pedales.



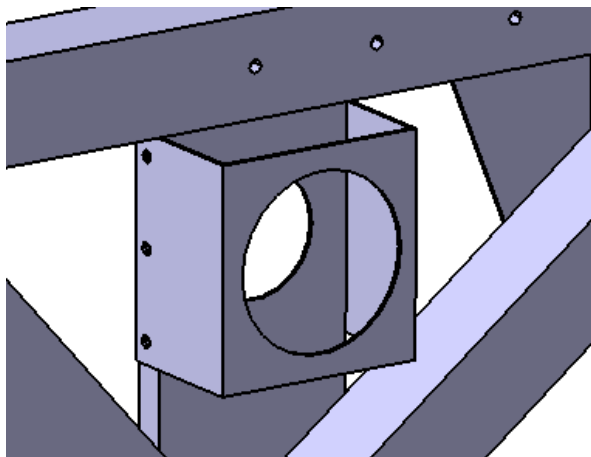


Figura 6-237. Refuerzos inferiores 9 en su posición final

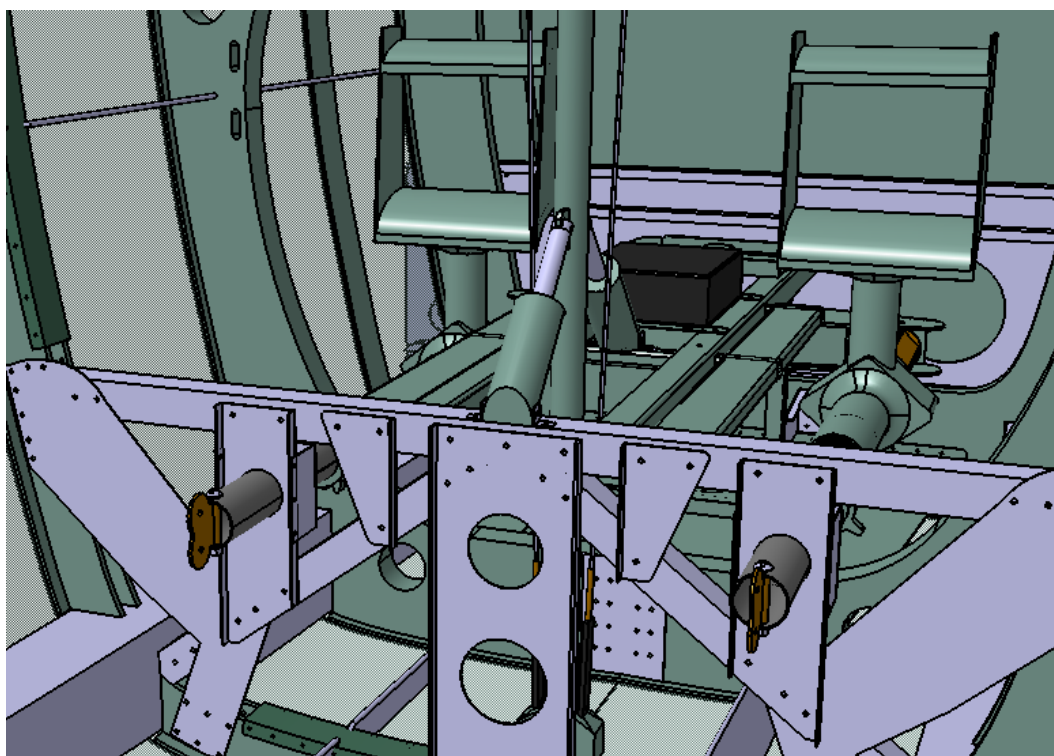


Figura 6-238. Refuerzos inferiores 9: Funcionalidad asociada a los pedales

Al ser las características de todas estas piezas muy similares, vamos a centrarnos en una de ellas para describir el proceso de fabricación asociado. Para ello usaremos la pieza que presenta una mayor dificultad:

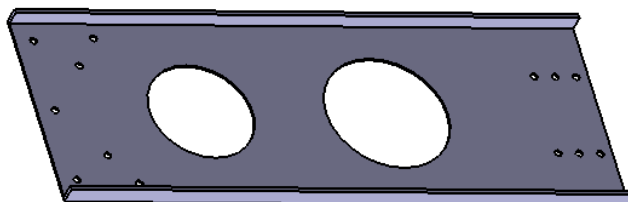


Figura 6-239. Refuerzo inferior 9: Pieza referencia modelada en CATIA

En este caso partiremos de una preforma de dimensiones 287 x 127 x 3mm. Para el resto de las piezas, variará el largo y ancho de la preforma manteniéndose el espesor de 3mm.

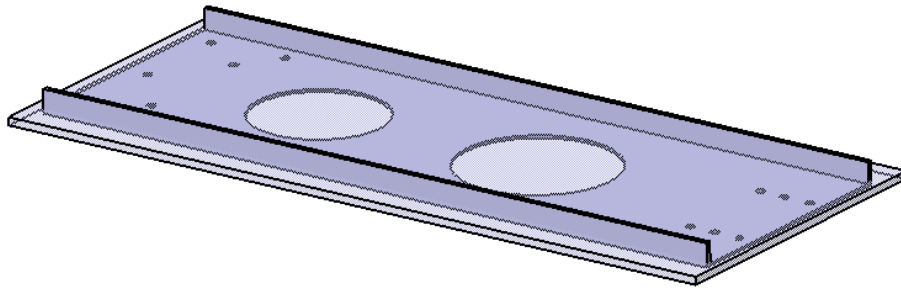


Figura 6-240. Refuerzo inferior 9: Preforma

Enumeramos las operaciones a seguir:

**1. Planeado por ambas caras (*Facing.1* y *Facing.2*):**

- a. **Estrategia de mecanizado:** Ida y vuelta con una pasada de desbaste y una de acabado.
- b. **Geometría a mecanizar:** Caras superior e inferior de la preforma, eliminando 1mm de material en cada cara.
- c. **Herramienta:** Fresa de planeado ASX400-100B10R de Mitsubishi Materials (Figura 6-28, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- d. **Parámetros de corte:** Los definidos para mecanizado de aleaciones de aluminio con la herramienta de corte elegida (Figura 6-29, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- e. **Macros:** Utilizamos los macros de aproximación, retirada y aclarado del usuario (6.4.1.7. *Macros en operaciones de mecanizado*).

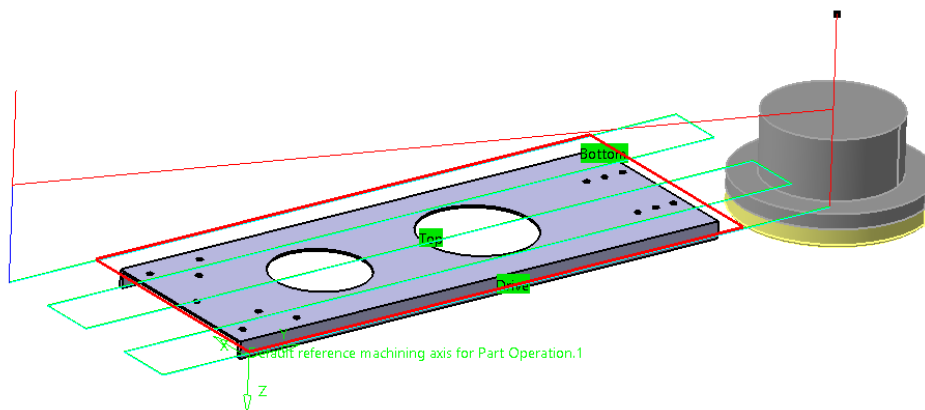


Figura 6-241. Refuerzo inferior 9: Trayectoria de planeado

**2. Contorneado exterior (*Profile Contouring.1*):**

- a. **Estrategia de mecanizado:** Zig-zag con dos pasadas de desbaste y dos de acabado (mecanizado en dos niveles axiales).
- b. **Geometría a mecanizar:** Contorno exterior, dejando margen para el doblado de chapa.
- c. **Herramienta:** Fresa periférico-frontal AM2MBR0200A060 de Mitsubishi Materials (Figura 6-36, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- d. **Parámetros de corte:** Los definidos para mecanizado de aleaciones de aluminio con la herramienta de corte elegida (Figura 6-37, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- e. **Macros:** Macros de aproximación y retirada del usuario (6.4.1.7. *Macros en operaciones de mecanizado*).

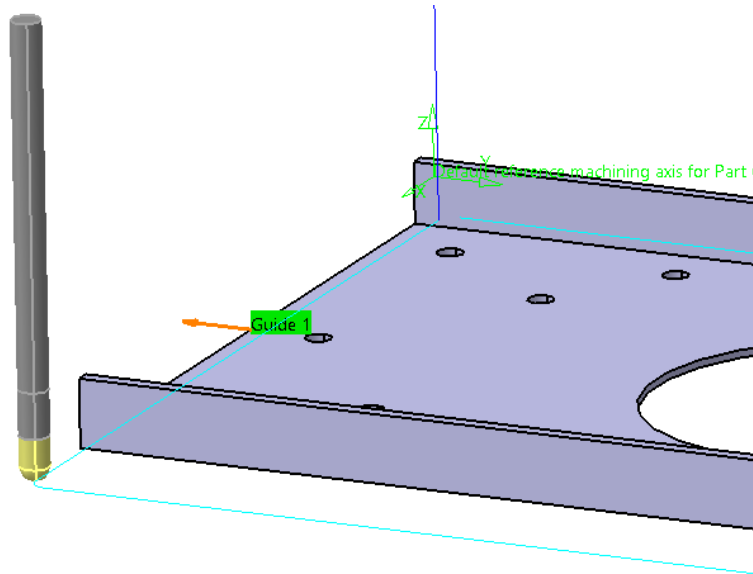


Figura 6-242. Refuerzo inferior 9: Trayectoria de contorneado exterior

### 3. Contorneado interior (*Profile Contouring.2-Profile Contouring.3*):

- a. **Estrategia de mecanizado:** Zig-zag con dos pasadas de desbaste y dos de acabado (mecanizado en dos niveles axiales).
- b. **Geometría a mecanizar:** Contornos interiores.
- c. **Herramienta:** Fresa periférico-frontal AM2MBR0200A060 de Mitsubishi Materials (Figura 6-36, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- d. **Parámetros de corte:** Los definidos para mecanizado de aleaciones de aluminio con la herramienta de corte elegida (Figura 6-37, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- e. **Macros:** Macros de aproximación y retirada del usuario (6.4.1.7. *Macros en operaciones de mecanizado*).

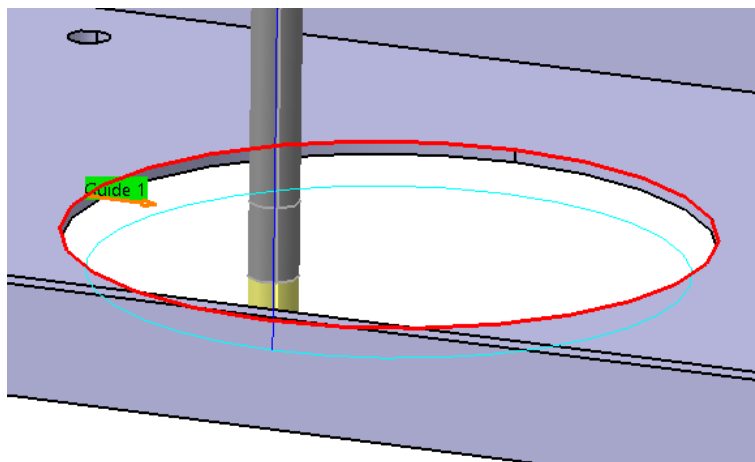


Figura 6-243. Refuerzo inferior 9: Trayectoria de contorneado interior

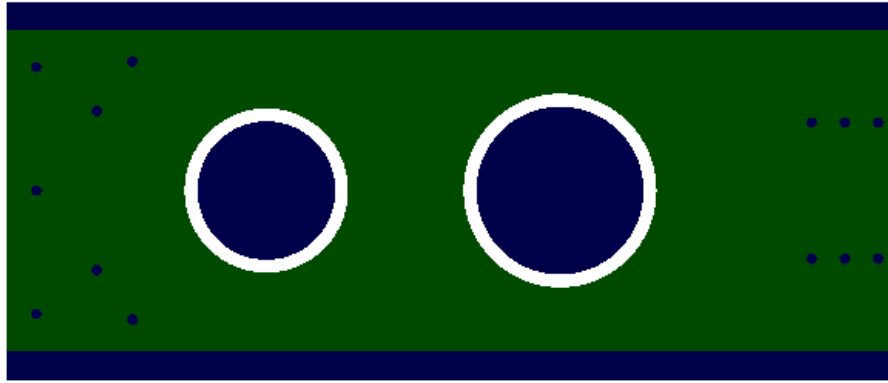


Figura 6-244. Refuerzo inferior 9: Resultado de contorneado

#### 4. Taladrado (*Drilling.1- Drilling.2*):

- a. **Estrategia de mecanizado:** Seguimos la siguiente secuencia de taladrado: 2.5-3.5mm. Transición entre agujeros a 10mm de la pieza.
- b. **Geometría a mecanizar:** Los agujeros de diámetro 3.5mm.
- c. **Herramientas:** Utilizaremos las brocas de UNCETA A2 2297 D2.5 y A2 2297 D3.5 (Figuras 6-42 a 6-50 apartado **6.3.3.5 Herramientas seleccionadas**).
- d. **Parámetros de corte:** Los definidos para mecanizado de aleaciones de aluminio con las herramientas de corte elegidas (Tabla 6-1, apartado **6.3.3.5 Herramientas seleccionadas**).
- e. **Macros:** Macros de aproximación y retirada del usuario (**6.4.1.7. Macros en operaciones de mecanizado**).

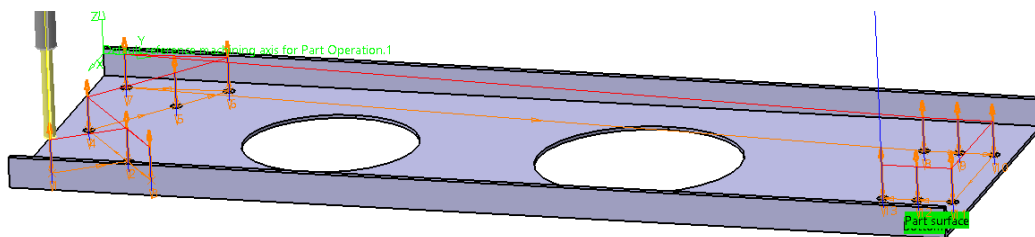


Figura 6-245. Refuerzo inferior 9: Trayectoria de taladrado

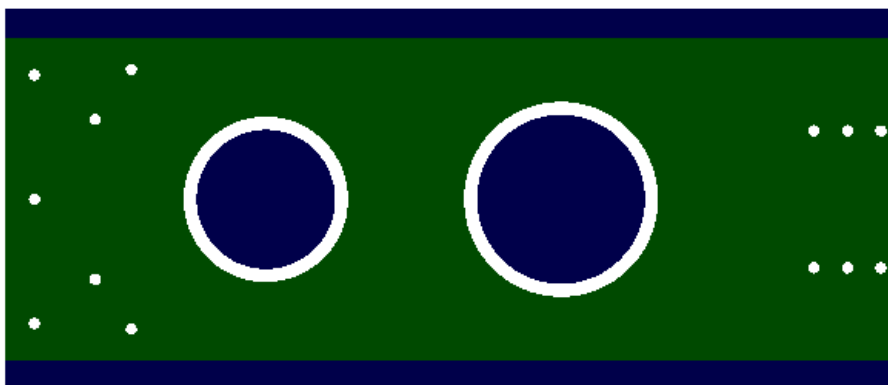


Figura 6-246. Refuerzo inferior 9: Resultado de taladrado

5. **Doblado de chapa:** Por último doblamos los extremos de la pieza resultante de las operaciones de mecanizado. Como podemos observar en el resultado final de estas operaciones, tenemos a ambos lados zonas de material marcado en el análisis como material sin eliminar (color azul). Estas zonas se doblan con ángulo 90° conformando la pieza final.

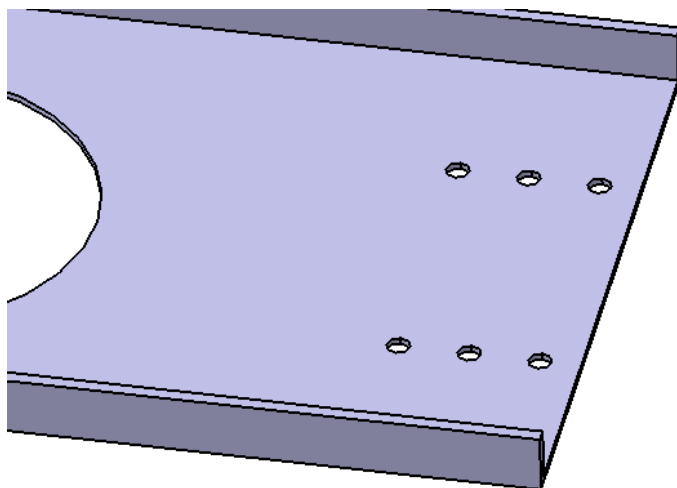


Figura 6-247. Refuerzo inferior 9: Detalle del resultado final

#### 6.6.2.2.5 Ensamblaje cuaderna 9

El ensamblaje de la cuaderna 9 responde a las mismas pautas de acción que las seguidas para la cuaderna 11:

1. **Remachado** de las chapas que recorren el contorno interior y las chapas frontales de la sección 9, con remaches ciegos de 2.38mm y remachadora hidroneumática correspondiente.

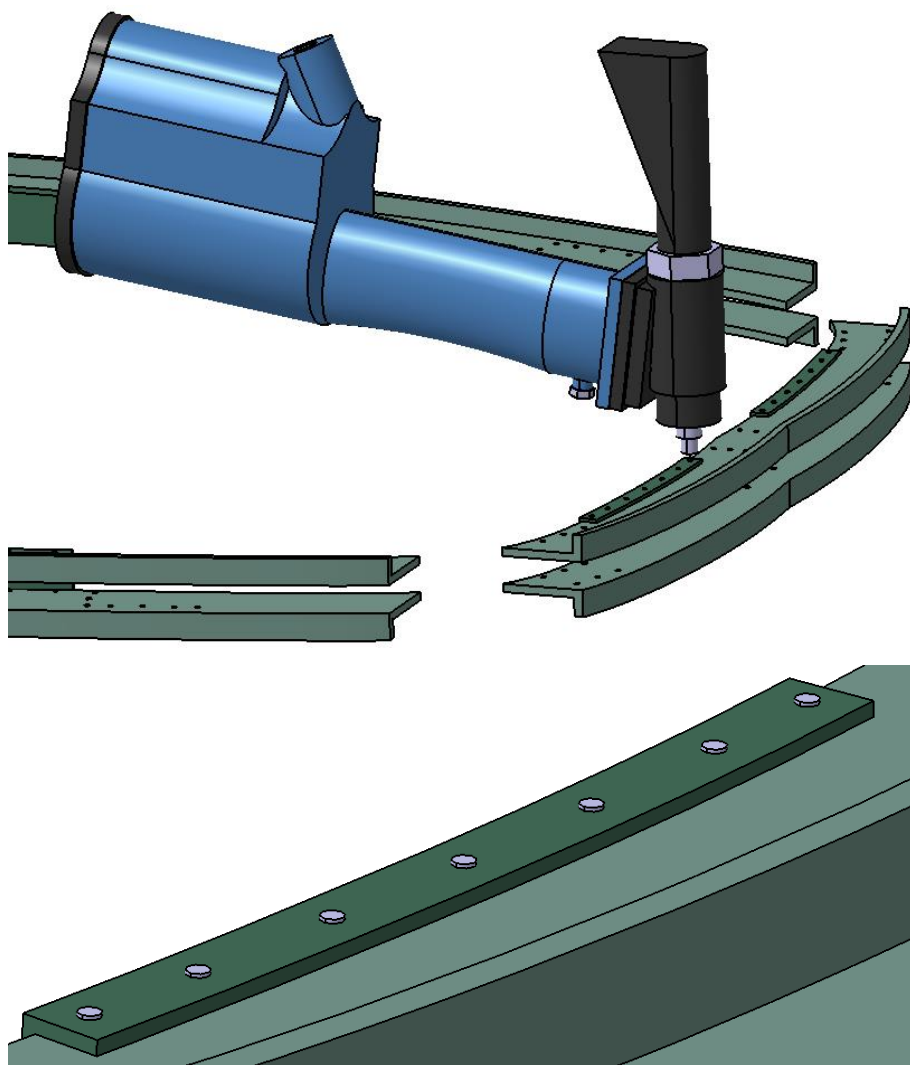


Figura 6-248. Cuaderna 9: Remachado sección 9



2. **Remachado** de los refuerzos laterales mediante remaches ciegos de 3.5mm.

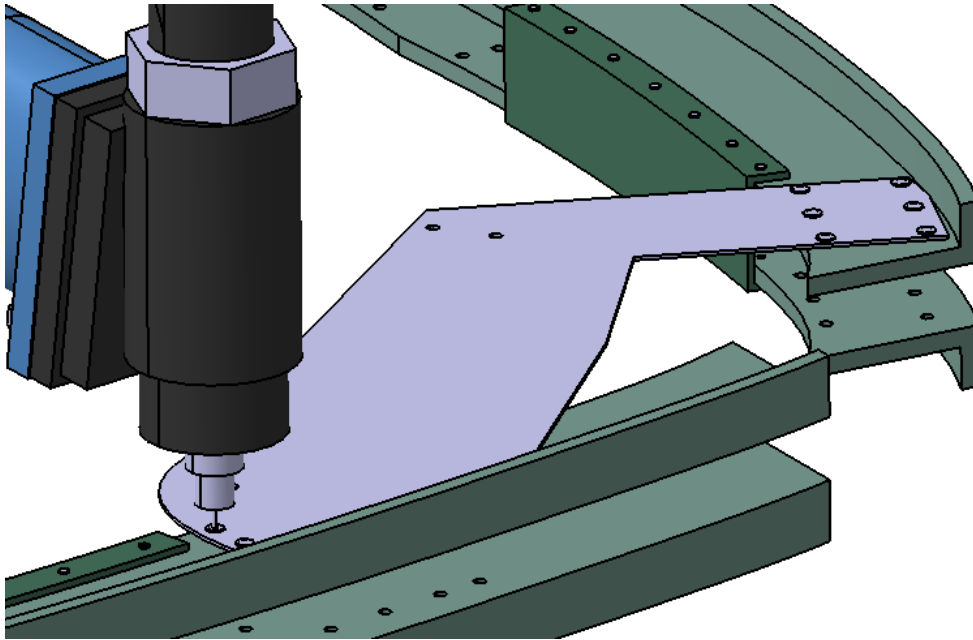


Figura 6-249. Cuaderna 9: Remachado refuerzo lateral

3. **Atornillamos** la barra horizontal sobre estos refuerzos con tornillos de diámetro 5mm y longitud 40mm más sus correspondientes arandelas y tuercas.

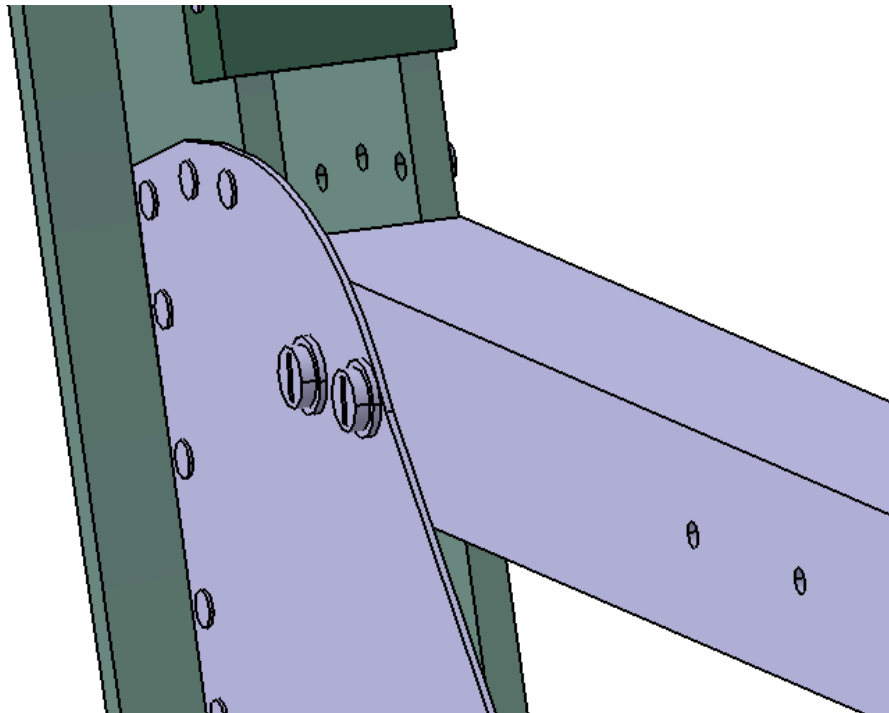


Figura 6-250. Cuaderna 9: Unión atornillada barra horizontal

4. **Remachado** del refuerzo central sobre la sección 9 y la barra horizontal con remaches ciegos de 3.5mm.

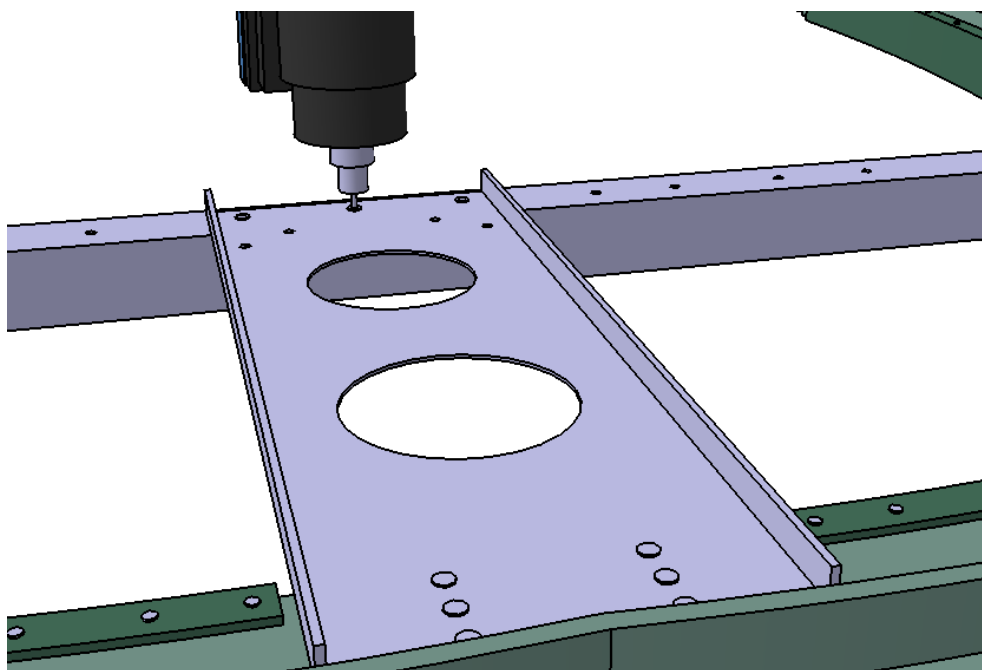


Figura 6-251. Cuaderna 9: Remachado refuerzo central

5. **Remachado** del resto de refuerzos en el orden correcto (remaches ciegos de 3.5mm).

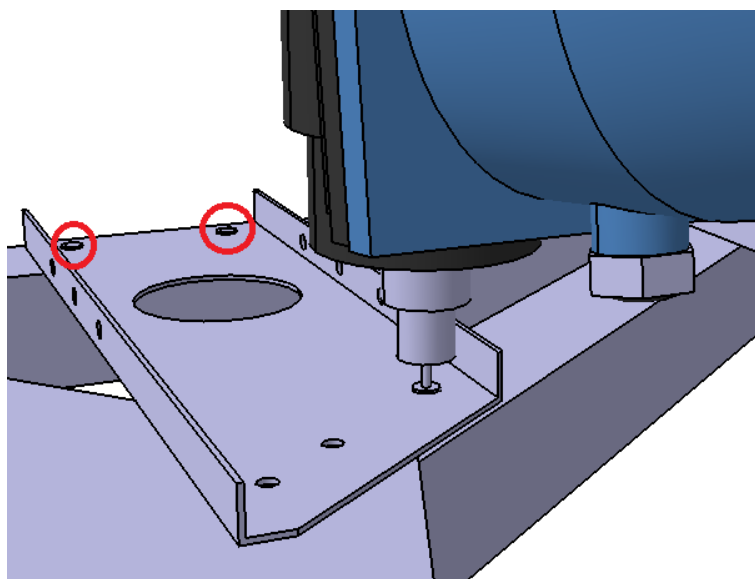


Figura 6-252. Cuaderna 9: Remachado del resto de refuerzos

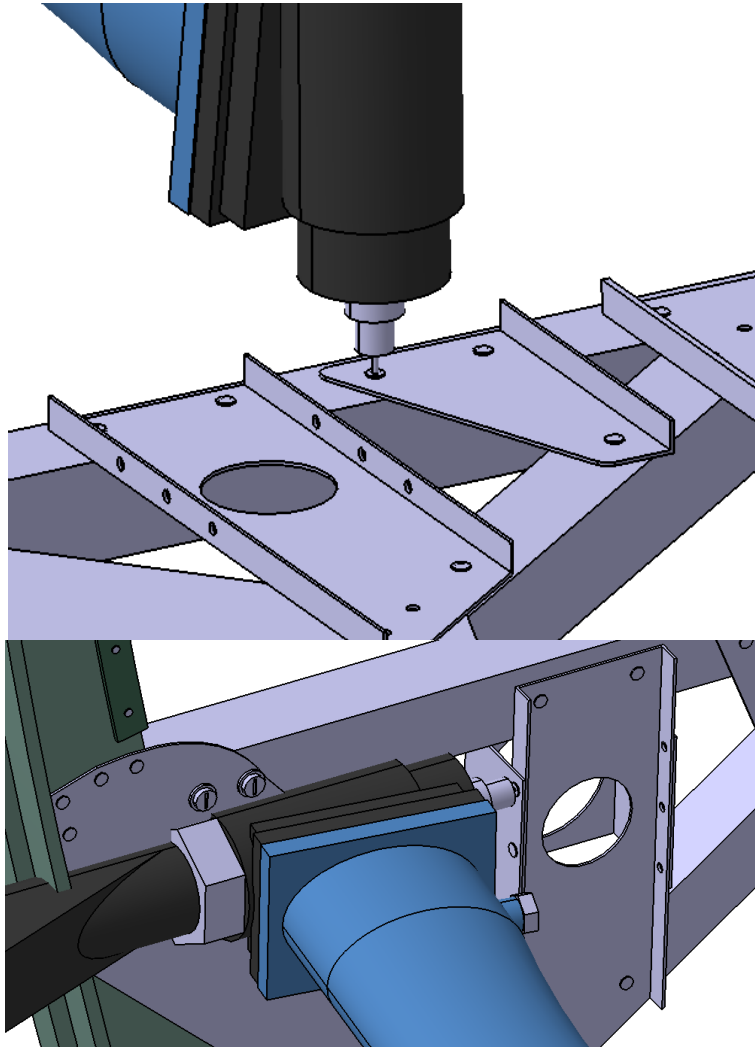


Figura 6-253. Cuaderna 9: Remachado del resto de refuerzos

Los remaches marcados de rojo se suplementan con una arandela de espesor 1mm que compensan la diferencia de altura. También podemos observar que en la última operación de remachado, se producen interferencias entre la remachadora y la cuaderna 9. Para solucionar este problema, usamos prolongadores/codos:



Figura 6-254. Prolongador/codo remachadora *Cherry*

6. Por último, **atornillamos** las barras diagonales sobre los refuerzos mediante tornillos de diámetro 5mm y longitud 40mm.

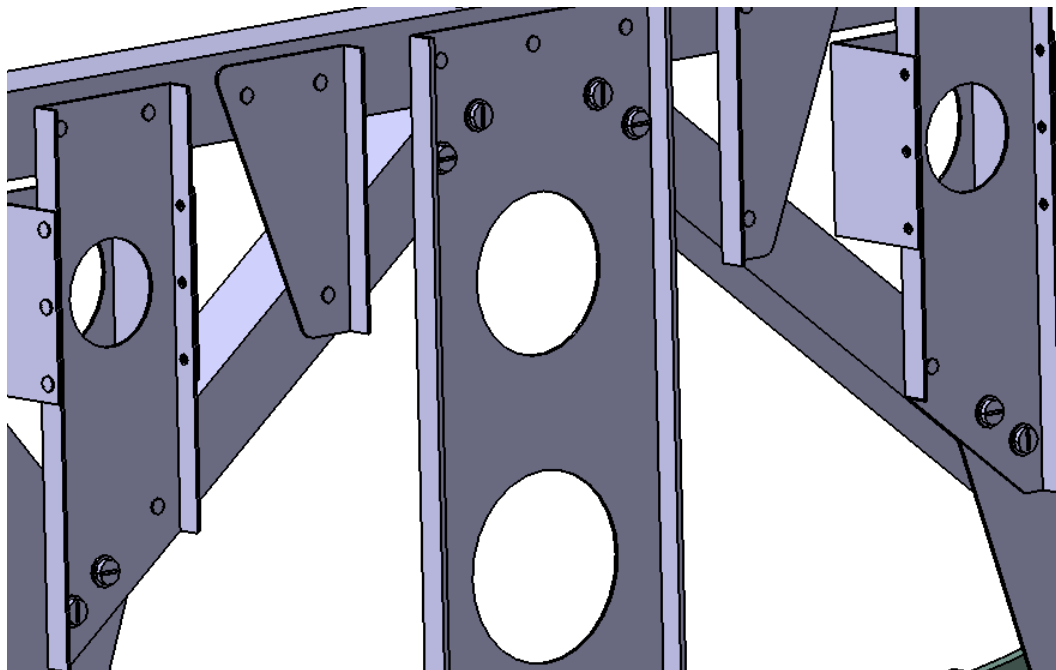


Figura 6-255. Cuaderna 9: Unión atornillada barras diagonales

#### 6.6.2.2.5.1 Ensamblaje cuaderna 9: Máquinas y herramientas utilizadas

Véase apartados **6.3.4 Máquinas** y **6.3.5.5 Herramientas seleccionadas**.

- Remachadora neumática para remaches ciegos.
  - Boquilla adecuada para el remache.

### 6.6.2.3 Cuaderna 5

Debido a la posición que ocupa en fuselaje, la cuaderna 5 presenta una forma y composición completamente diferentes al resto. Por tanto, mostrar la transformación completa de la cuaderna no se debe a su complejidad ni a que sirva como proceso guía, sino a sus particulares características.

De hecho, se puede considerar a la cuaderna 5 como la más crítica e importante de todas las cuadernas, ya que es el punto de anclaje entre fuselaje y alas y, a su vez, punto de separación entre la cabina y el motor.

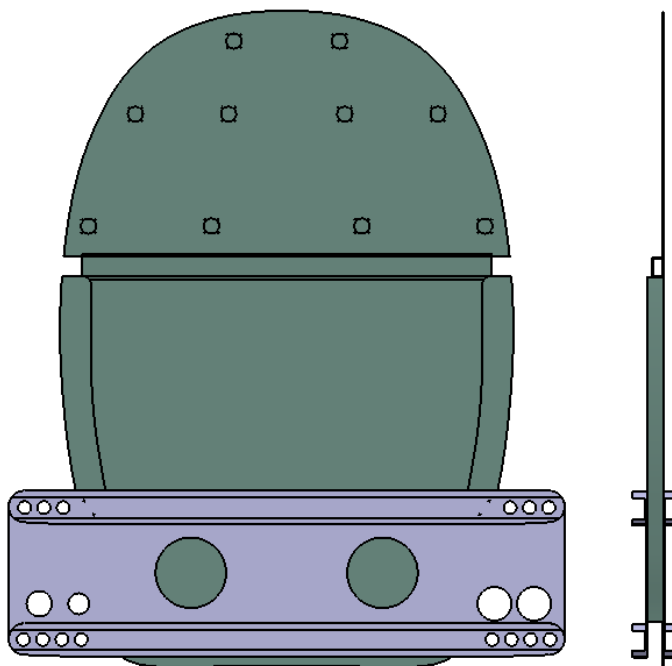


Figura 6-256. Cuaderna 5 modelada en CATIA

#### 6.6.2.3.1 Sección 5

La sección 5 está constituida por tres paneles (tipo sándwich), aluminio-amianto-aluminio, y cuenta con refuerzos antibalas, que junto a la protección del motor y el tanque de combustible, aumentan la seguridad del piloto.

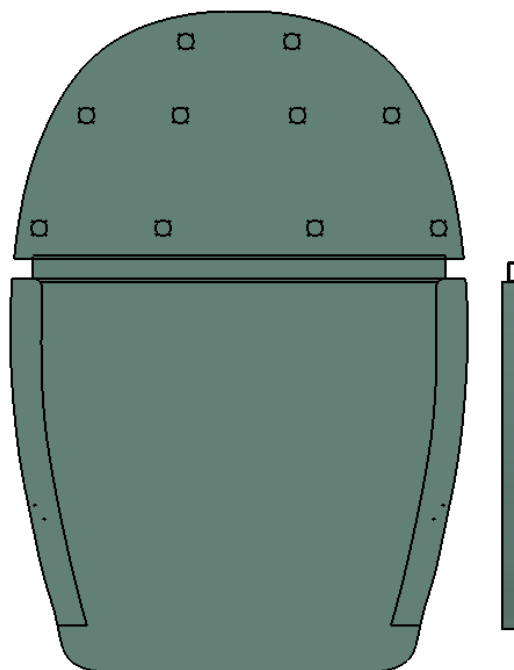


Figura 6-257. Sección 5 modelada en CATIA

Pese a los materiales que la conforman y su estructura especial, vamos a simular el proceso de fabricación de la “primera capa” de aluminio del panel sándwich, para ilustrar una forma de proceder. Sin embargo, si en la realidad fuese de obligada necesidad la obtención desde cero de esta sección, optaríamos por encargar su fabricación sobre planos a un proveedor especializado (se podrían estudiar otras alternativas en cuanto al material de manera que nos ofrezca garantías estructurales y suficiente aislamiento ante las altas temperaturas generadas en el compartimento motor).

Esta primera capa, está formada por cuatro componentes soldados. Comenzaremos simulando la fabricación de la base sobre la que se sueldan un perfil y dos marcos metálicos. Para ello partimos de una preforma de 1266 x 880 x 4mm.

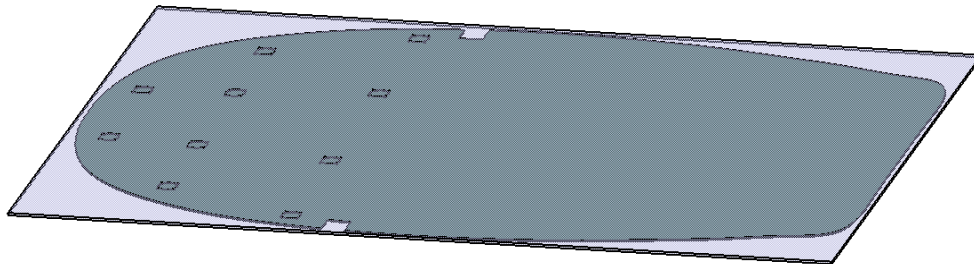


Figura 6-258. Sección 5-pieza 1: Preforma

### 1. Planeado por ambas caras (*Facing.1 y Facing.2*):

- Estrategia de mecanizado:** Ida y vuelta con una pasada de desbaste y una de acabado.
- Geometría a mecanizar:** Caras superior e inferior de la preforma, eliminando 1mm de material en cada cara.
- Herramienta:** Fresa de planeado ASX400-100B10R de Mitsubishi Materials (Figura 6-28, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- Parámetros de corte:** Los definidos para mecanizado de aleaciones de aluminio con la herramienta de corte elegida (Figura 6-29, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- Macros:** Utilizamos las macros de aproximación, retirada y aclarado del usuario (6.4.1.7. *Macros en operaciones de mecanizado*).

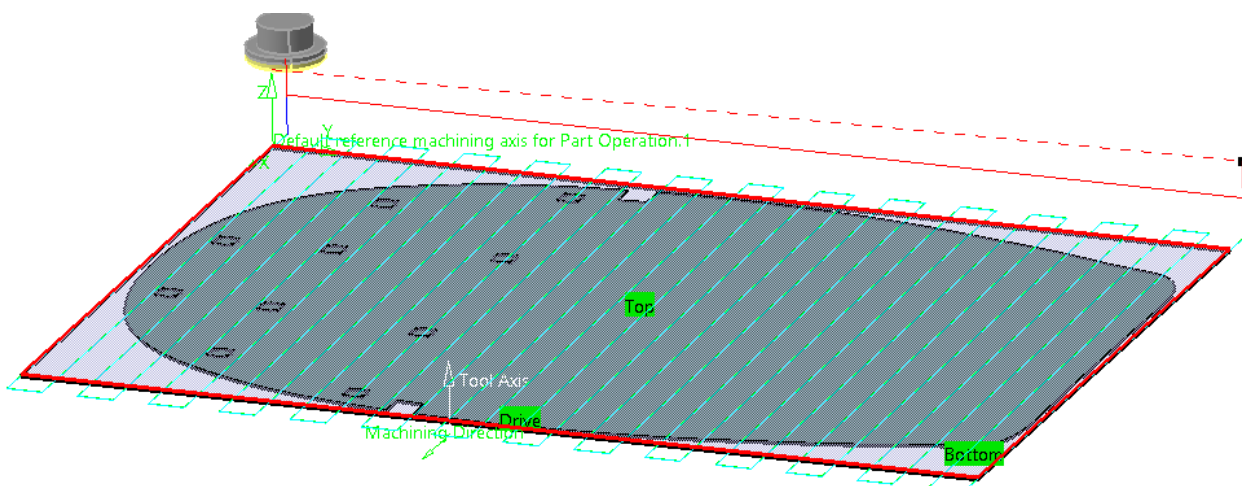


Figura 6-259. Sección 5-pieza 1: Trayectoria de planeado

### 2. Contorneado (*Profile Contouring.1*):

- Estrategia de mecanizado:** Zig-zag con una pasada de desbaste y una de acabado.
- Geometría a mecanizar:** Contorno exterior de la base.
- Herramienta:** Fresa periférico-frontal AM2MBR0200A060 de Mitsubishi Materials (Figura 6-36, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- Parámetros de corte:** Los definidos para mecanizado de aleaciones de aluminio con la

herramienta de corte elegida (Figura 6-37, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).

- e. **Macros:** Macros de aproximación y retirada del usuario (6.4.1.7. *Macros en operaciones de mecanizado*).

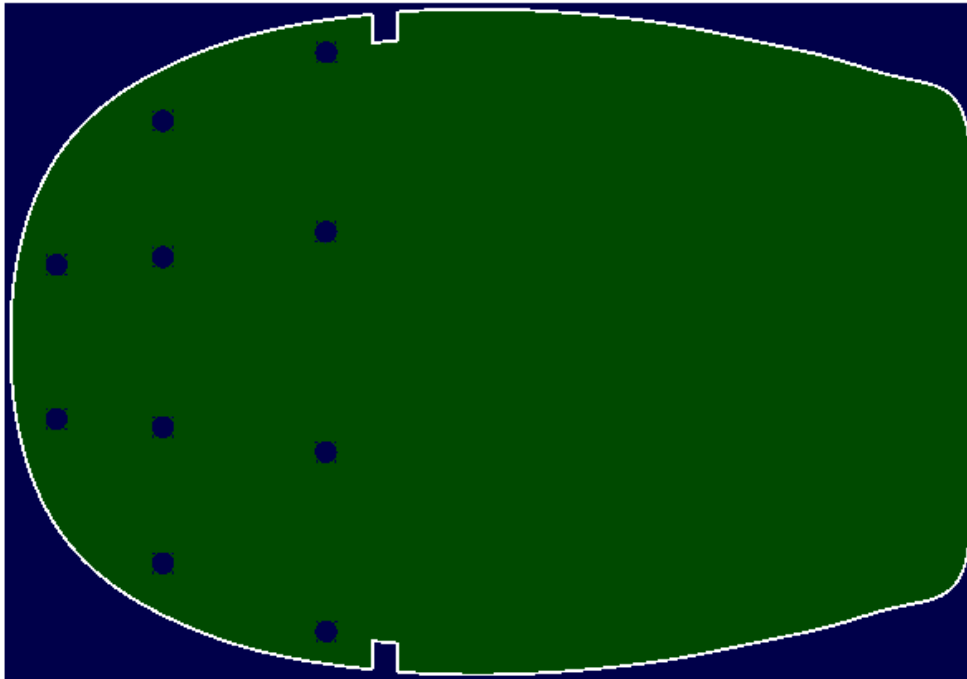


Figura 6-260. Sección 5-pieza 1: Resultado de contorneado

### 3. Vaciado (*Pocketing.1-Pocketing.10*):

- a. **Estrategia de mecanizado:** Helicoidal hacia fuera con una pasada de desbaste y una de acabado.
- b. **Geometría a mecanizar:** Vaciado cilíndricos de la superficie frontal posterior.
- c. **Herramienta:** Fresa periférico-frontal AM2MBR0200A060 de Mitsubishi Materials (Figura 6-36, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- d. **Parámetros de corte:** Los definidos para mecanizado de aleaciones de aluminio con la herramienta de corte elegida (Figura 6-37, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- e. **Macros:** Macros de aproximación y retirada del usuario (6.4.1.7. *Macros en operaciones de mecanizado*).

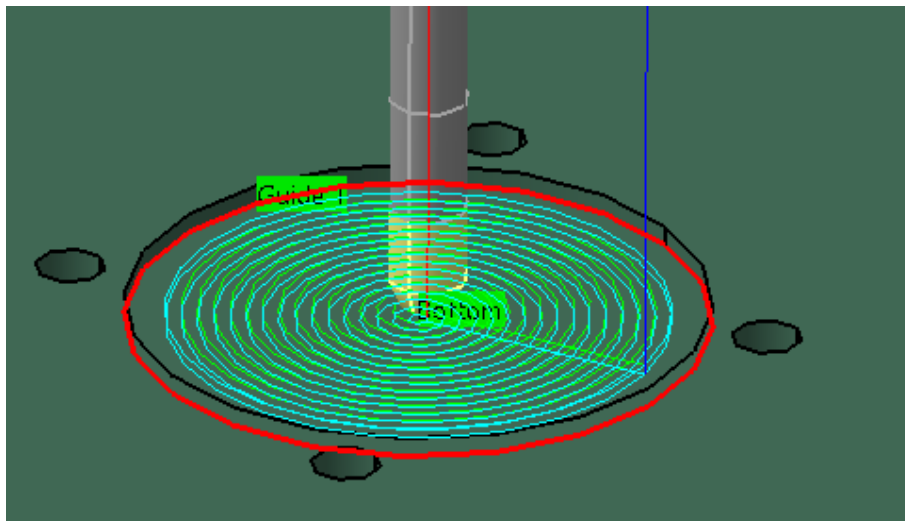


Figura 6-261. Sección 5-pieza 1: Trayectoria de vaciado

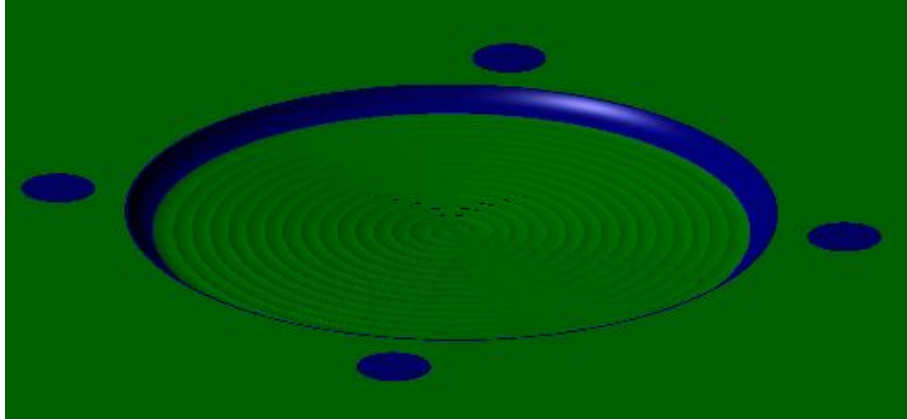


Figura 6-262. Sección 5-pieza 1: Resultado de vaciado en detalle

Como podemos apreciar, se podría mejorar el resultado de esta operación de mecanizado en la zona exterior de la circunferencia. Para ello habría que optar por operaciones de retrabajado de esquinas con las herramientas adecuadas.

#### 4. Taladrado (*Drilling.1- Drilling.2*):

- a. **Estrategia de mecanizado:** Seguimos la siguiente secuencia de taladrado: 2.5-3.5mm. Transición entre agujeros a 10mm de la pieza.
- b. **Geometría a mecanizar:** Los agujeros de diámetro 3.5mm.
- c. **Herramientas:** Utilizaremos las brocas de UNCETA A2 2297 D2.5 y A2 2297 D3.5 (Figuras 6-42 a 6-50 apartado **6.3.3.5 Herramientas seleccionadas**).
- d. **Parámetros de corte:** Los definidos para mecanizado de aleaciones de aluminio con las herramientas de corte elegidas (Tabla 6-1, apartado **6.3.3.5 Herramientas seleccionadas**).
- e. **Macros:** Macros de aproximación y retirada del usuario (**6.4.1.7. Macros en operaciones de mecanizado**).

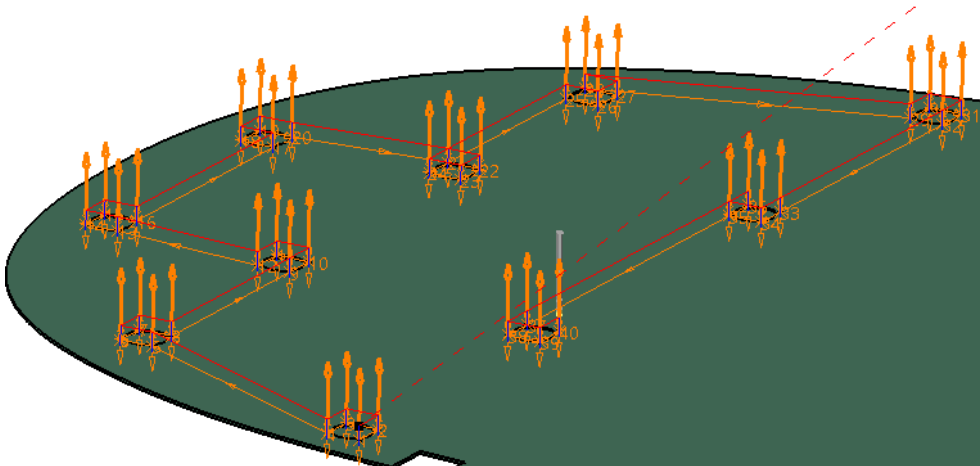


Figura 6-263. Sección 5-pieza 1: Trayectoria de taladrado



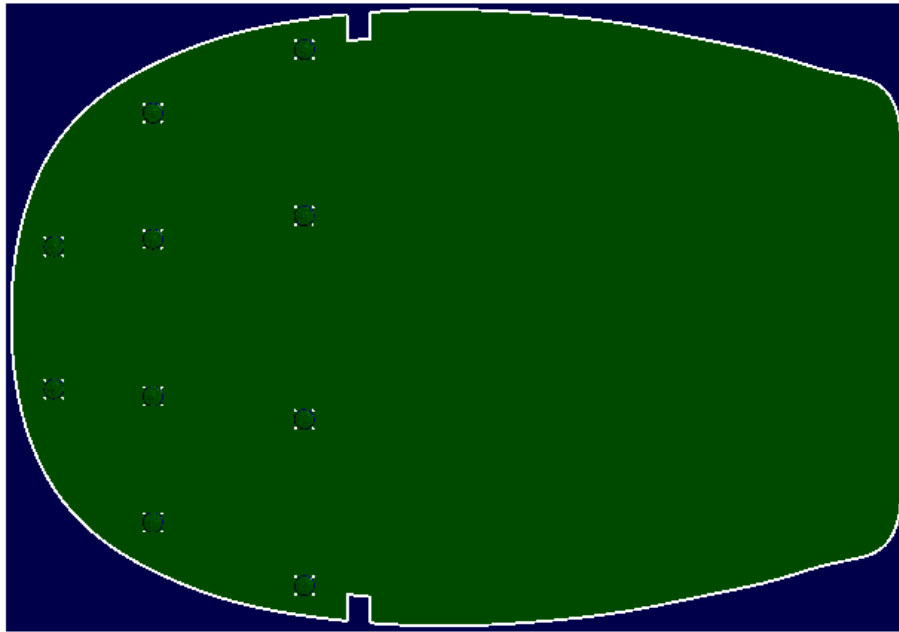


Figura 6-264. Sección 5-pieza 1: Resultado de taladrado

A continuación, describimos el proceso de fabricación asociado a los marcos metálicos situados en los extremos de forma simétrica. La preforma seleccionada tendrá las siguientes dimensiones: 666 x 155 x 32mm.

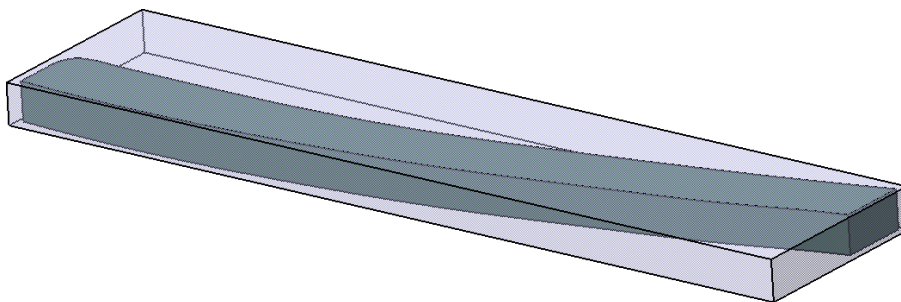


Figura 6-265. Sección 5-pieza 2: Preforma

#### 1. Planeado por ambas caras (*Facing.1 y Facing.2*):

- a. **Estrategia de mecanizado:** Ida y vuelta con una pasada de desbaste y una de acabado.
- b. **Geometría a mecanizar:** Caras superior e inferior de la preforma, eliminando 1mm de material en cada cara.
- c. **Herramienta:** Fresa de planeado ASX400-100B10R de Mitsubishi Materials (Figura 6-28, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- d. **Parámetros de corte:** Los definidos para mecanizado de aleaciones de aluminio con la herramienta de corte elegida (Figura 6-29, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- e. **Macros:** Utilizamos las macros de aproximación, retirada y aclarado del usuario (6.4.1.7. *Macros en operaciones de mecanizado*).

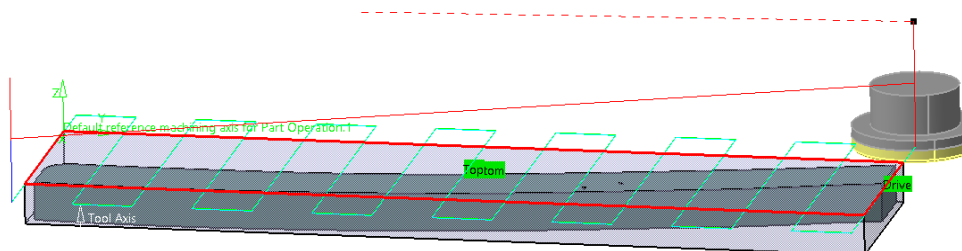


Figura 6-266. Sección 5-pieza 2: Trayectoria de planeado

## 2. Contorneado (*Profile Contouring.1*):

- a. **Estrategia de mecanizado:** Zig-zag con dos pasadas de desbaste y dos de acabado (mecanizado en dos niveles axiales).
- b. **Geometría a mecanizar:** Contorno exterior.
- c. **Herramienta:** Fresa periférico-frontal VQJHVD1200 de Mitsubishi Materials (Figura 6-32, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- d. **Parámetros de corte:** Los definidos para mecanizado de aleaciones de aluminio con la herramienta de corte elegida (Figura 6-33, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- e. **Macros:** Macros de aproximación y retirada del usuario (6.4.1.7. *Macros en operaciones de mecanizado*).

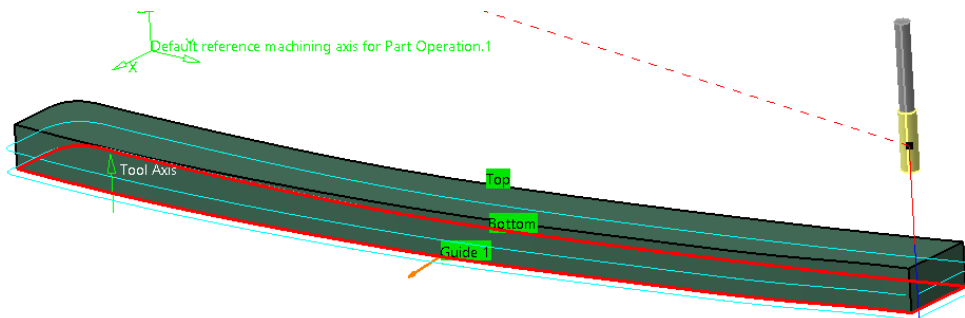


Figura 6-267. Sección 5-pieza 2: Trayectoria de contorneado

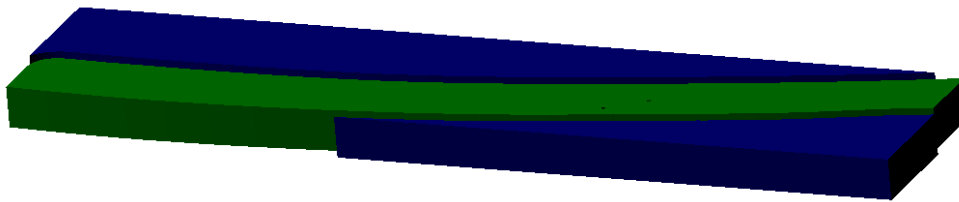


Figura 6-268. Sección 5-pieza 2: Resultado de contorneado

## 3. Taladrado (*Drilling.1- Drilling.2*):

- a. **Estrategia de mecanizado:** Seguimos la siguiente secuencia de taladrado: 2.5-3.5mm. Como el espesor de la pieza es mayor que la longitud de corte de la herramienta, realizamos la operación en dos etapas, taladrado por la cara anterior y luego por la cara posterior. Transición entre agujeros a 10mm de la pieza.
- b. **Geometría a mecanizar:** Los agujeros de diámetro 3.5mm.
- c. **Herramientas:** Utilizaremos las brocas de UNCETA A2 2297 D2.5 y A2 2297 D3.5 (Figuras 6-42 a 6-50 apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- d. **Parámetros de corte:** Los definidos para mecanizado de aleaciones de aluminio con las herramientas de corte elegidas (Tabla 6-1, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- e. **Macros:** Macros de aproximación y retirada del usuario (6.4.1.7. *Macros en operaciones de mecanizado*).



Figura 6-269. Sección 5-pieza 2: Resultado de taladrado en detalle

Por último, nos centramos en el perfil soldado en la parte central de la sección 5. Se trata de un perfil de espesor 1mm y longitud 775mm.

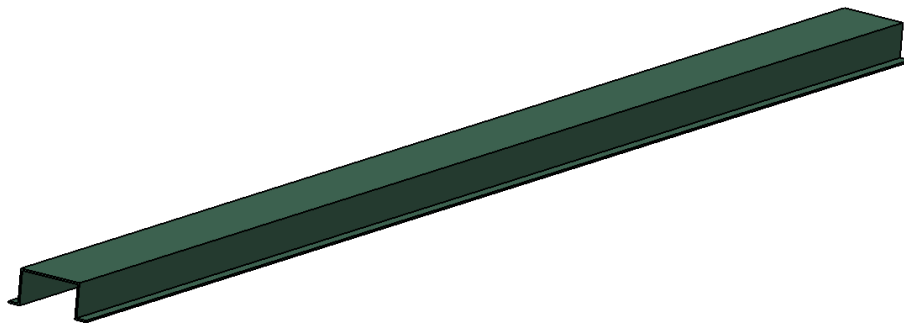


Figura 6-270. Sección 5: Parte 3 modelada en CATIA

1. **Laminación:** Obtenemos una barra que servirá de preforma para la obtención del tubo.
2. **Extrusión:** Se hace pasar la barra anteriormente obtenida por una matriz o hilera de perfil hueco con la forma del perfil en cuestión.

Una vez obtenidos todos los componentes procedemos a **soldar** cada componente en su posición final para obtener el resultado final del elemento denominado como sección 5.

#### 6.6.2.3.2 Parte inferior 5

Se trata de un componente de aleación de aluminio que se sitúa a ambos lados de la sección 5. Sobre estos componentes se encastran las alas, por lo que su importancia es crítica para el correcto funcionamiento de la aeronave. Deben ser de un material muy específico que resista los esfuerzos estructurales a los que está sometido.

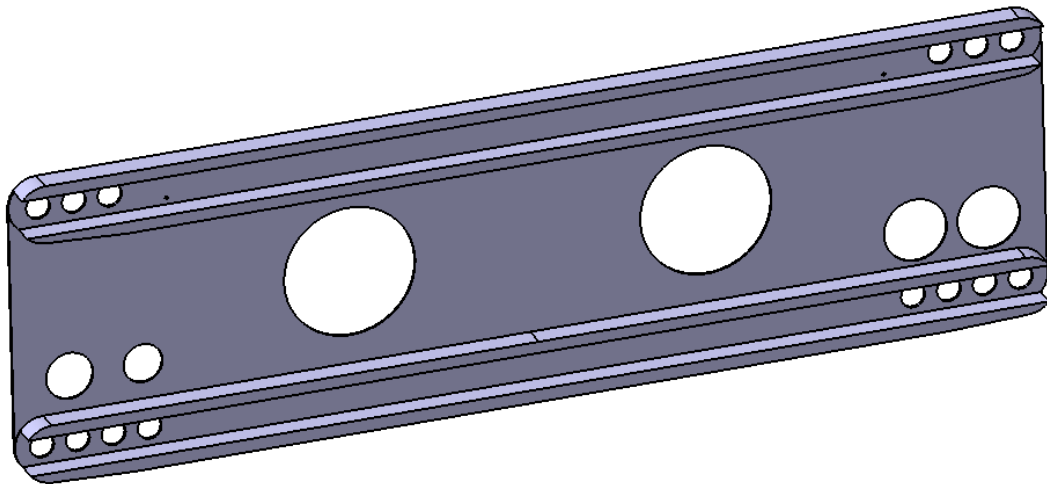


Figura 6-271. Parte inferior 5 modelada en CATIA

A continuación repasamos las operaciones de mecanizado necesarias para la obtención de este componente. Para ello, debemos disponer de una preforma de dimensiones 1065 x 325 x 29mm.

### 1. Planeado por ambas caras (*Facing.1 y Facing.2*):

- a. **Estrategia de mecanizado:** Ida y vuelta con una pasada de desbaste y una de acabado.
- b. **Geometría a mecanizar:** Caras superior e inferior de la preforma, eliminando 1mm de material en cada cara.
- c. **Herramienta:** Fresa de planeado ASX400-100B10R de Mitsubishi Materials (Figura 6-28, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- d. **Parámetros de corte:** Los definidos para mecanizado de aleaciones de aluminio con la herramienta de corte elegida (Figura 6-29, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- e. **Macros:** Utilizamos los macros de aproximación, retirada y aclarado del usuario (6.4.1.7. *Macros en operaciones de mecanizado*).

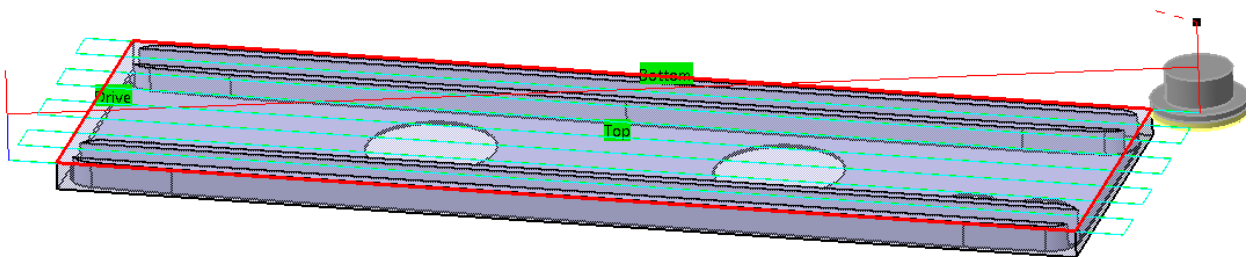


Figura 6-272. Parte inferior 5: Trayectoria de planeado

### 2. Contorneado exterior (*Profile Contouring.1*):

- a. **Estrategia de mecanizado:** Zig-zag con dos pasadas de desbaste y dos de acabado (mecanizado en dos niveles axiales).
- b. **Geometría a mecanizar:** Contorno exterior.
- c. **Herramienta:** Fresa periférico-frontal VQJHVD1200 de Mitsubishi Materials (Figura 6-32, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- d. **Parámetros de corte:** Los definidos para mecanizado de aleaciones de aluminio con la herramienta de corte elegida (Figura 6-33, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- e. **Macros:** Macros de aproximación y retirada del usuario (6.4.1.7. *Macros en operaciones de mecanizado*).

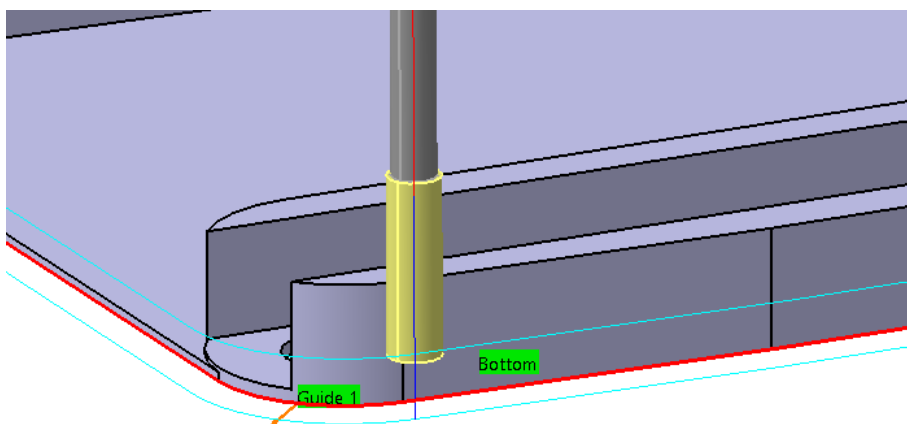


Figura 6-273. Parte inferior 5: Trayectoria de contorneado exterior

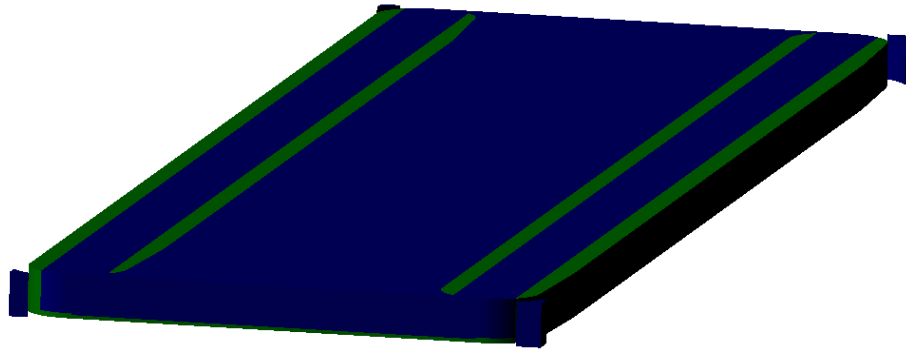


Figura 6-274. Parte inferior 5: Resultado de contorneado exterior

### 3. Vaciado (*Pocketing.1-Pocketing.3*):

- a. **Estrategia de mecanizado:** Helicoidal hacia fuera con dos pasadas de desbaste y dos de acabado (mecanizado en dos niveles axiales).
- b. **Geometría a mecanizar:** Vaciados interiores.
- c. **Herramienta:** Fresa periférico-frontal VQJHVD1200 de Mitsubishi Materials (Figura 6-32, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- d. **Parámetros de corte:** Los definidos para mecanizado de aleaciones de aluminio con la herramienta de corte elegida (Figura 6-33, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- e. **Macros:** Macros de aproximación y retirada del usuario (6.4.1.7. *Macros en operaciones de mecanizado*).

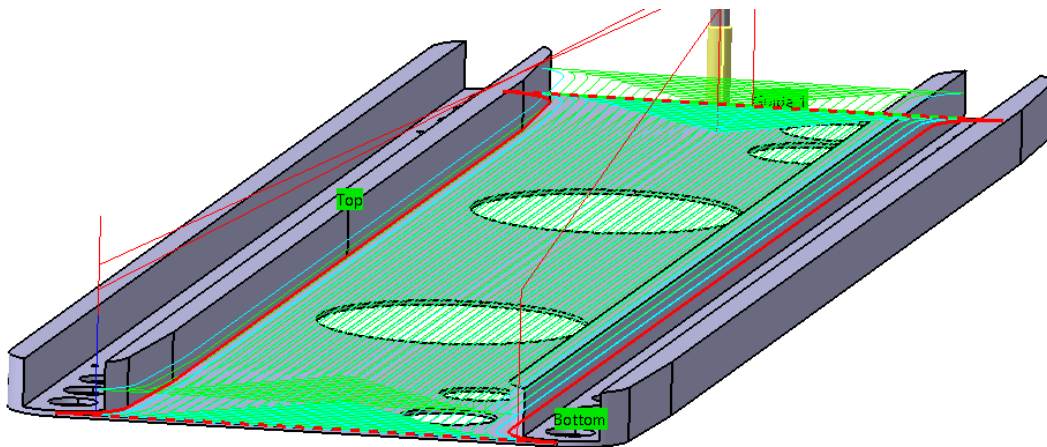


Figura 6-275. Parte inferior 5: Trayectoria de vaciado

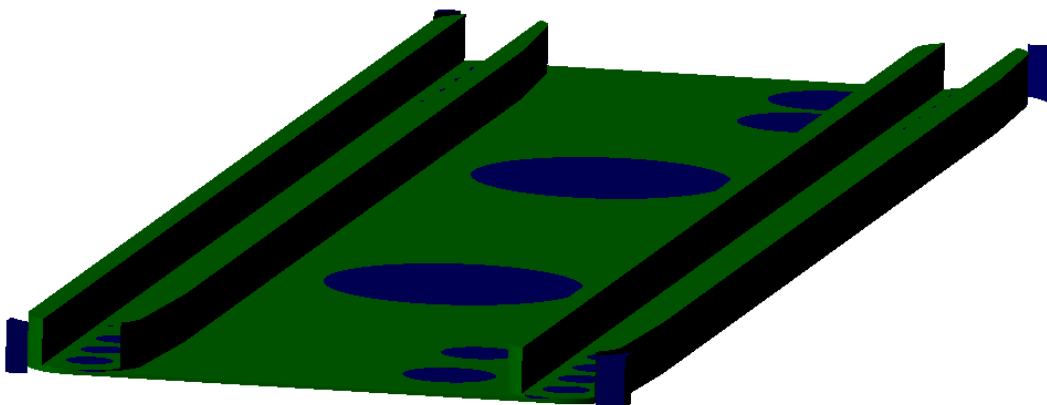


Figura 6-276. Parte inferior 5: Resultado de vaciado

#### 4. Contorneado interior (*Profile Contouring.2-Profile Contouring.23*):

- a. **Estrategia de mecanizado:** Zig-zag con una pasada de desbaste y una de acabado.
- b. **Geometría a mecanizar:** Contornos interiores.
- c. **Herramienta:** Fresa periférico-frontal VQJHVD1200 de Mitsubishi Materials (Figura 6-32, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- d. **Parámetros de corte:** Los definidos para mecanizado de aleaciones de aluminio con la herramienta de corte elegida (Figura 6-33, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- e. **Macros:** Macros de aproximación y retirada del usuario (6.4.1.7. *Macros en operaciones de mecanizado*).

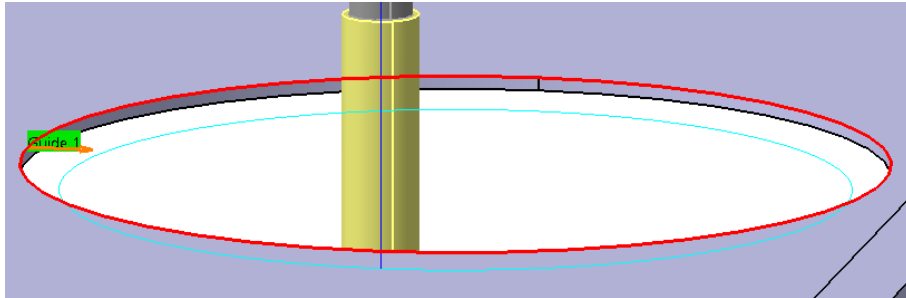


Figura 6-277. Parte inferior 5: Trayectoria de contorneado interior

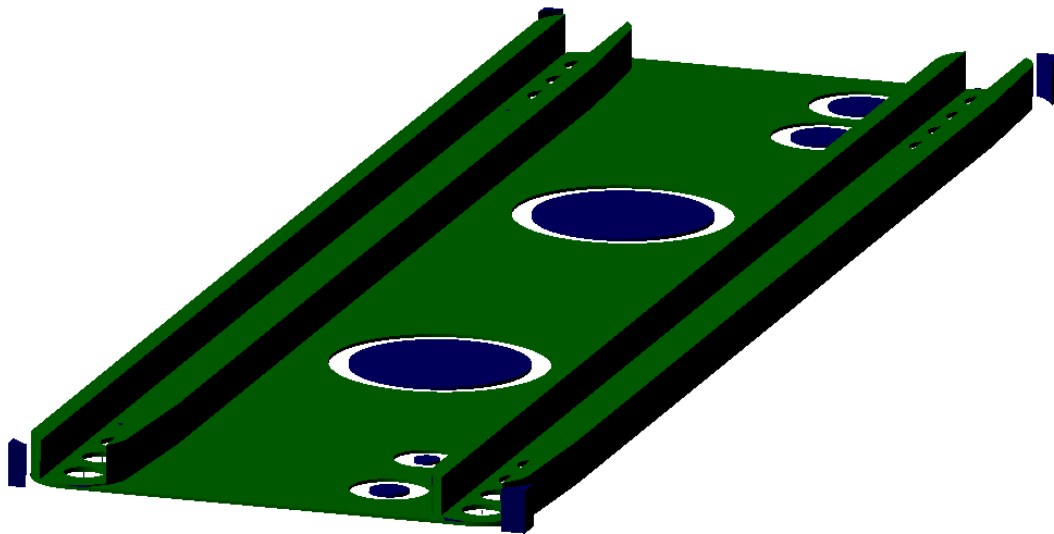


Figura 6-278. Parte inferior 5: Resultado de contorneado interior

#### 5. Taladrado (*Drilling.1- Drilling.2*):

- a. **Estrategia de mecanizado:** Seguimos la siguiente secuencia de taladrado: 2.5-3.5mm. Transición entre agujeros a 10mm de la pieza.
- b. **Geometría a mecanizar:** Los agujeros de diámetro 3.5mm.
- c. **Herramientas:** Utilizaremos las brocas de UNCETA A2 2297 D2.5 y A2 2297 D3.5 (Figuras 6-42 a 6-50 apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- d. **Parámetros de corte:** Los definidos para mecanizado de aleaciones de aluminio con las herramientas de corte elegidas (Tabla 6-1, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- e. **Macros:** Macros de aproximación y retirada del usuario (6.4.1.7. *Macros en operaciones de mecanizado*).

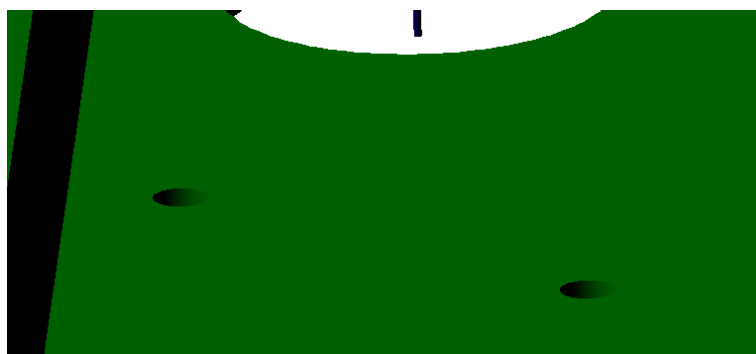


Figura 6-279. Parte inferior 5: Resultado de taladrado en detalle

#### 6.6.2.3.3 Ensamblaje cuaderna 5

El ensamblaje de la cuaderna 5 es bastante simple, consistiendo en **uniones atornilladas**. Se unen la sección 5 y las dos estructuras inferiores mediante tornillos de diámetro 5mm y longitud 50mm más las arandelas y tuercas correspondientes.

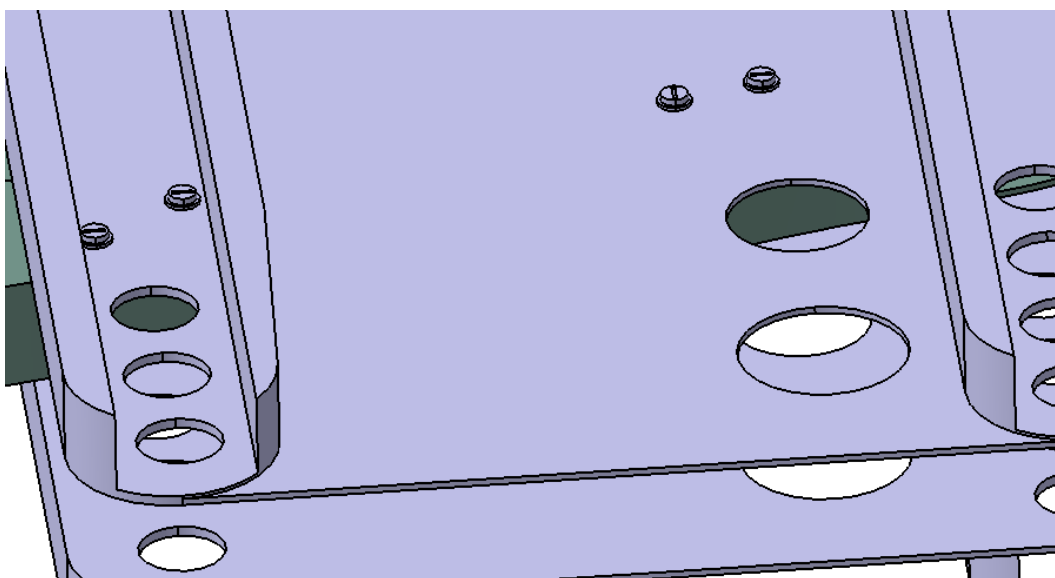


Figura 6-280. Cuaderna 5: Unión atornillada

Nota: Las cuatro uniones de la parte inferior han sido añadidas para garantizar que la unión sea rígida.

#### 6.6.2.4 Cuaderna 6

De aquí en adelante describiremos la fabricación de las cuadernas a grandes rasgos, es decir, sin explicar detalladamente ni simular las operaciones seguidas. No obstante, se hará referencia en cada apartado a la cuaderna que más se asemeje de entre las analizadas en profundidad y, por tanto, a la sección que deberíamos acudir para indagar más en el proceso seguido. Tampoco se llevarán a cabo labores de rediseño en estas cuadernas, si bien aclaramos que todas deberían pasar por procesos similares a los llevados a cabo en las cuadernas 11 y 9.

Por ejemplo, para la cuaderna 6 véase apartado **6.6.3.2 Cuaderna 9** para mayor número de detalles.

Nota: En el caso de los refuerzos y otros elementos similares, la fabricación sigue las mismas pautas en todos los casos, a excepción de las sujeciones de los largueros de la cuaderna 19c.

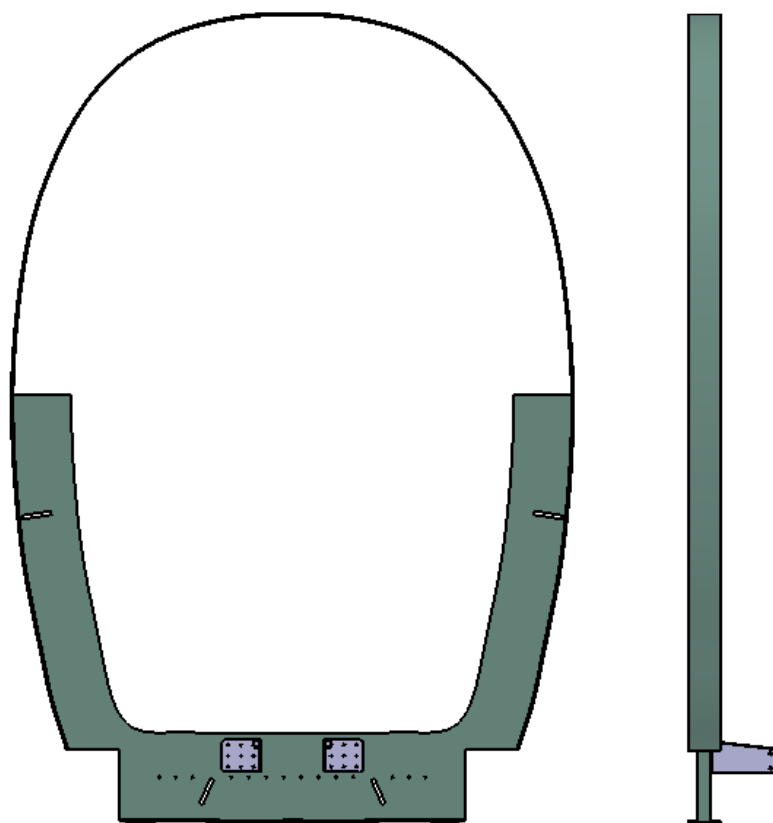


Figura 6-281. Cuaderna 6 modelada en CATIA

#### 6.6.2.5 Cuaderna 8

La cuaderna 8 delimita la cabina del piloto, situándose sobre ella el panel de instrumentos y bajo ella los pedales. Por este motivo es muy frecuente ver fotografías de dicha cuaderna en libros o webs especializadas en el Spitfire.

Véase apartado **6.6.3.1 Cuaderna 11**.

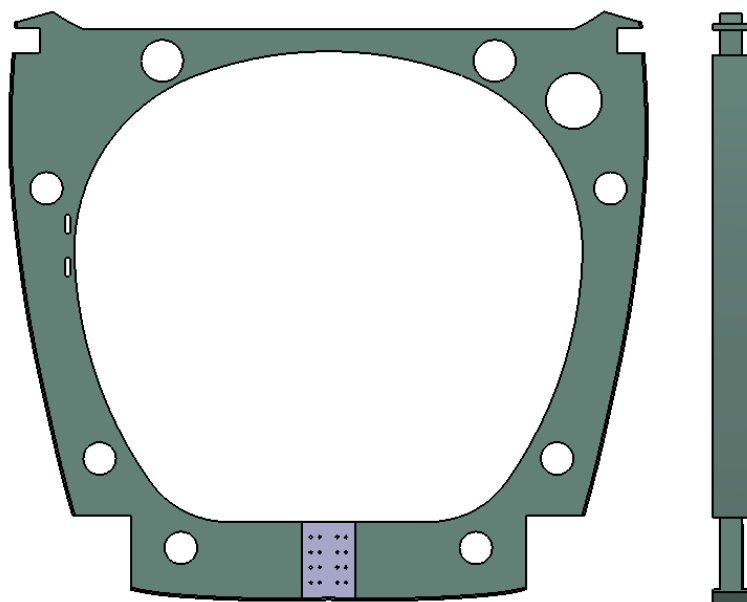


Figura 6-282. Cuaderna 8 modelada en CATIA



#### 6.6.2.6 Cuaderna 10

La asimetría característica de esta cuaderna se debe a que en uno de sus laterales se sitúa la puerta de acceso a la cabina.

Véase apartado 6.6.3.2 *Cuaderna 9*.

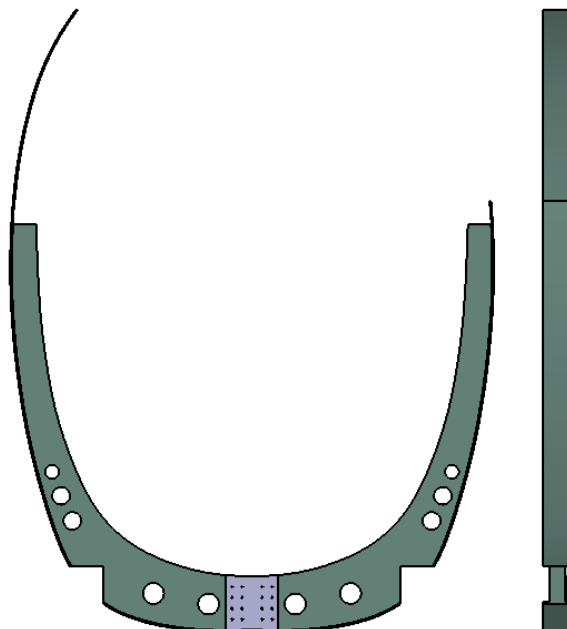


Figura 6-283. Cuaderna 10 modelada en CATIA

#### 6.6.2.7 Cuaderna 12

La cuaderna 12 se sitúa aproximadamente en el centro del fuselaje. En el proceso de modelado seguido en el TFG, se usó como referencia para situar el resto de cuadernas y módulos del avión.

Véase apartado 6.6.3.1 *Cuaderna 11*.

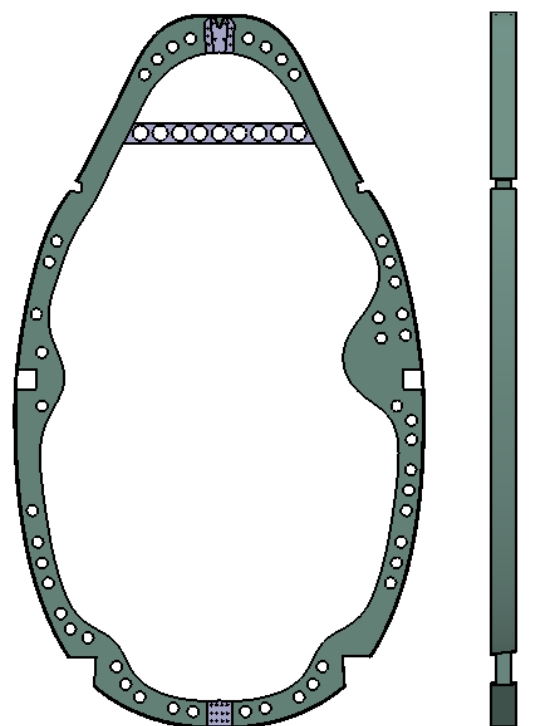


Figura 6-284. Cuaderna 12 modelada en CATIA

### 6.6.2.8 Cuaderna 13

Véase apartado 6.6.3.1 *Cuaderna 11*.

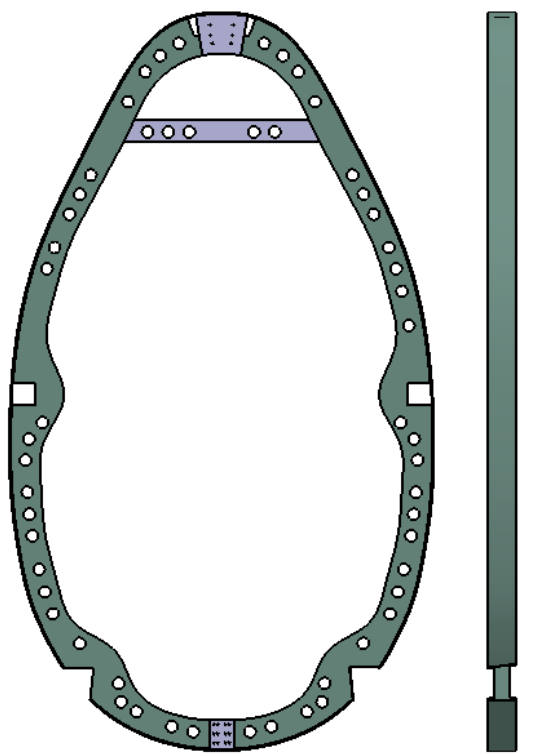


Figura 6-285. Cuaderna 13 modelada en CATIA

### 6.6.2.9 Cuaderna 14

Véase apartado 6.6.3.1 *Cuaderna 11*.

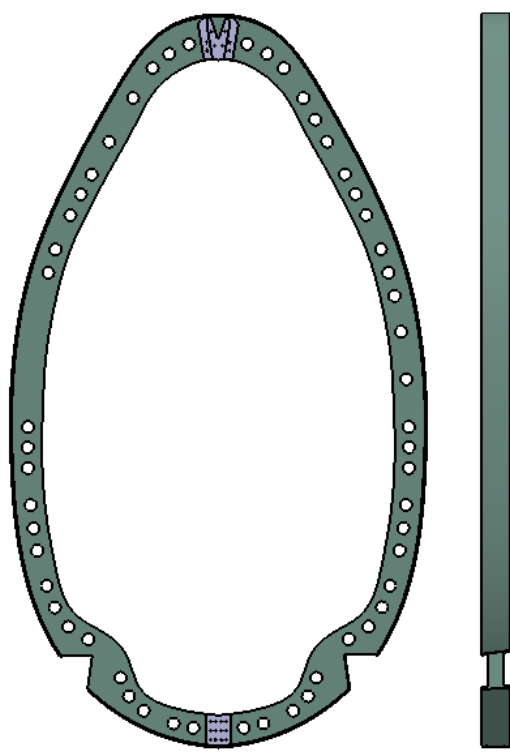


Figura 6-286. Cuaderna 14 modelada en CATIA

**6.6.2.10 Cuaderna 15**

Véase apartado 6.6.3.1 *Cuaderna 11*.

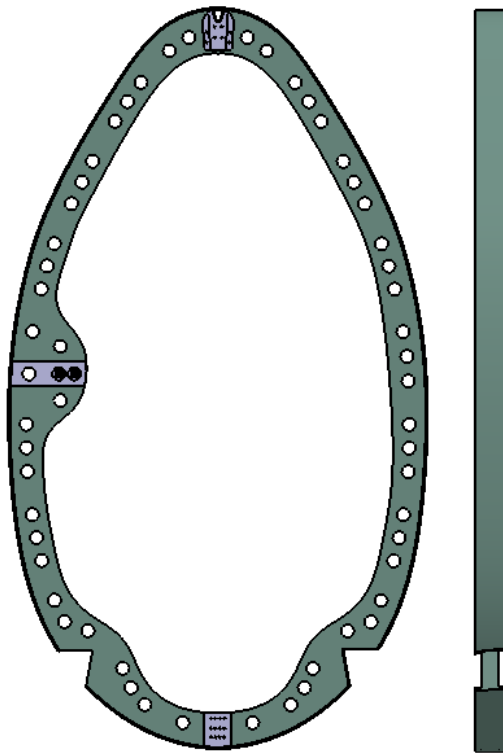


Figura 6-287. Cuaderna 15 modelada en CATIA

**6.6.2.11 Cuaderna 16**

Véase apartado 6.6.3.1 *Cuaderna 11*.

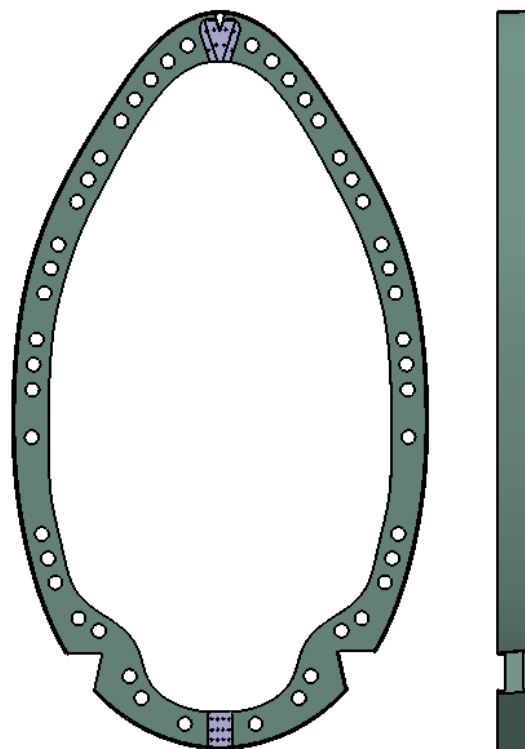


Figura 6-288. Cuaderna 16 modelada en CATIA

### 6.6.2.12 Cuaderna 17

Véase apartado 6.6.3.1 *Cuaderna 11*.

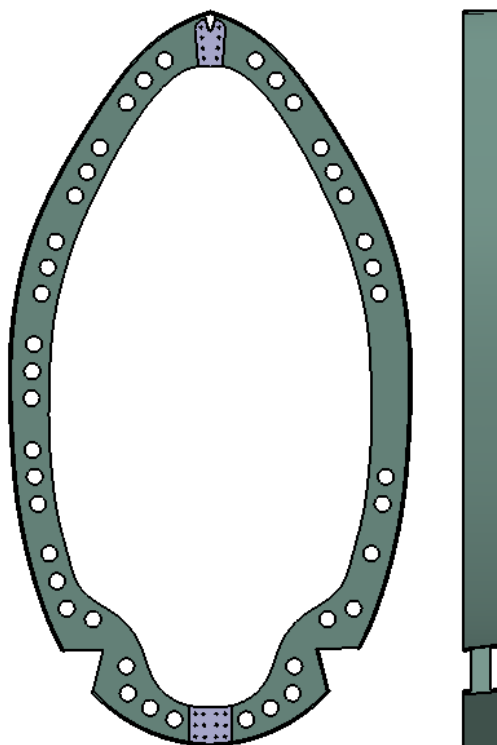


Figura 6-289. Cuaderna 17 modelada en CATIA

### 6.6.2.13 Cuaderna 18

Véase apartado 6.6.3.1 *Cuaderna 11*.

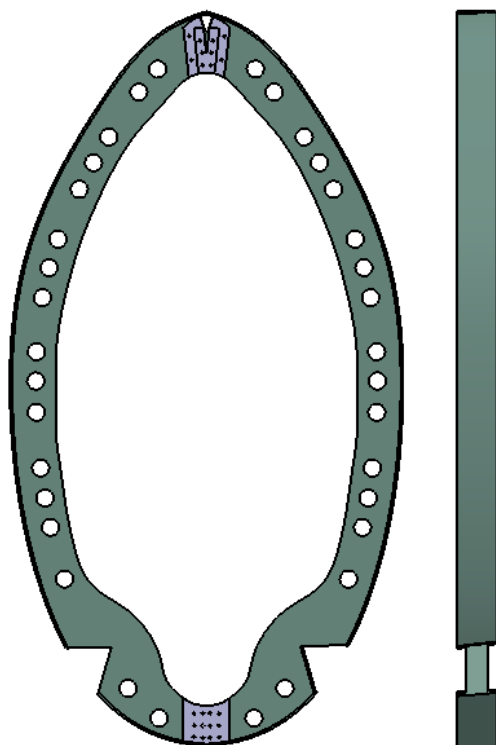


Figura 6-290. Cuaderna 18 modelada en CATIA

#### 6.6.2.14 Cuaderna 18a

La cuaderna 18a se caracteriza por su superficie frontal más pequeña que ocupa aproximadamente la mitad superior del contorno. Por esta razón se asemeja más a la cuaderna 9 que a la 11.

Véase apartado 6.6.3.2 *Cuaderna 9*.

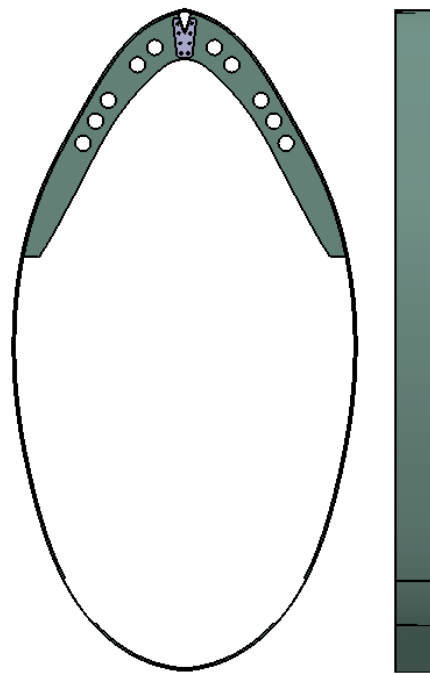


Figura 6-291. Cuaderna 18a modelada en CATIA

#### 6.6.2.15 Cuaderna 19 canted

Última cuaderna del fuselaje, establece la separación entre este módulo y la cola. Posee unas piezas para la sujeción de los largueros inferiores cuya fabricación se verá con detalle. Para el resto de componentes véase apartado 6.6.3.1 *Cuaderna 11*.

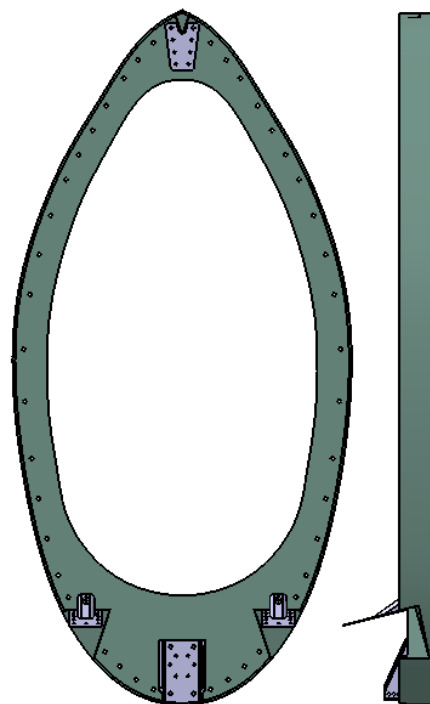


Figura 6-292. Cuaderna 19c modelada en CATIA

#### 6.6.2.15.1 Sujeción larguero inferior principal 19c

Se trata de una pieza de fabricación especial cuya función es servir de sujeción para los largueros inferiores.

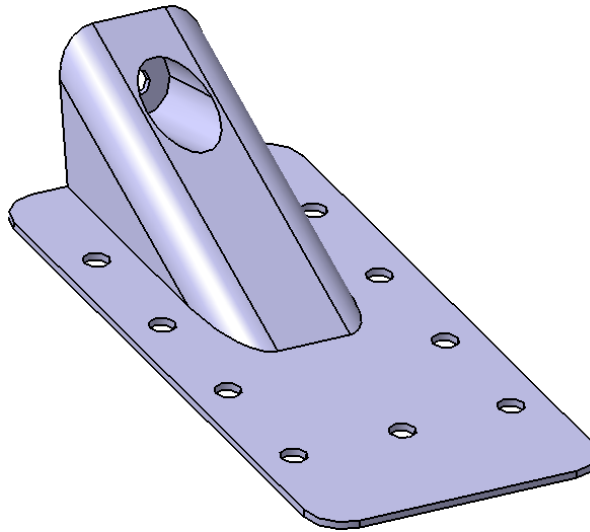


Figura 6-293. Sujeción larguero inferior principal 19c modelada en CATIA

Podemos considerarla formada por dos componentes soldados. Como el primero de ellos es una chapa taladrada, nos centraremos en el segundo de ellos. La preforma tiene dimensiones 54 x 24 x 20mm.

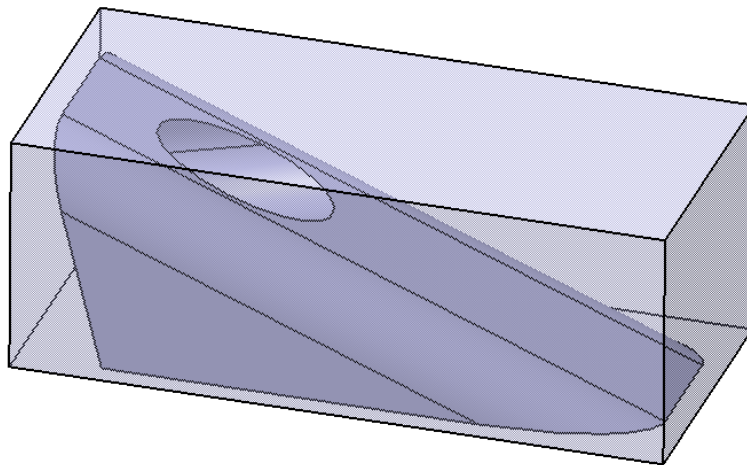


Figura 6-294. Sujeción larguero inferior 19c: Preforma

#### 1. Planeado por las cuatro caras (*Facing.1-Facing.5*):

- a. **Estrategia de mecanizado:** Ida y vuelta con una pasada de desbaste y una de acabado.
- b. **Geometría a mecanizar:** Cinco de las seis caras de la preforma.
- c. **Herramienta:** Fresa de planeado ASX400-100B10R de Mitsubishi Materials (Figura 6-28, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- d. **Parámetros de corte:** Los definidos para mecanizado de aleaciones de aluminio con la herramienta de corte elegida (Figura 6-29, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- e. **Macros:** Utilizamos las macros de aproximación, retirada y aclarado del usuario (6.4.1.7. *Macros en operaciones de mecanizado*).

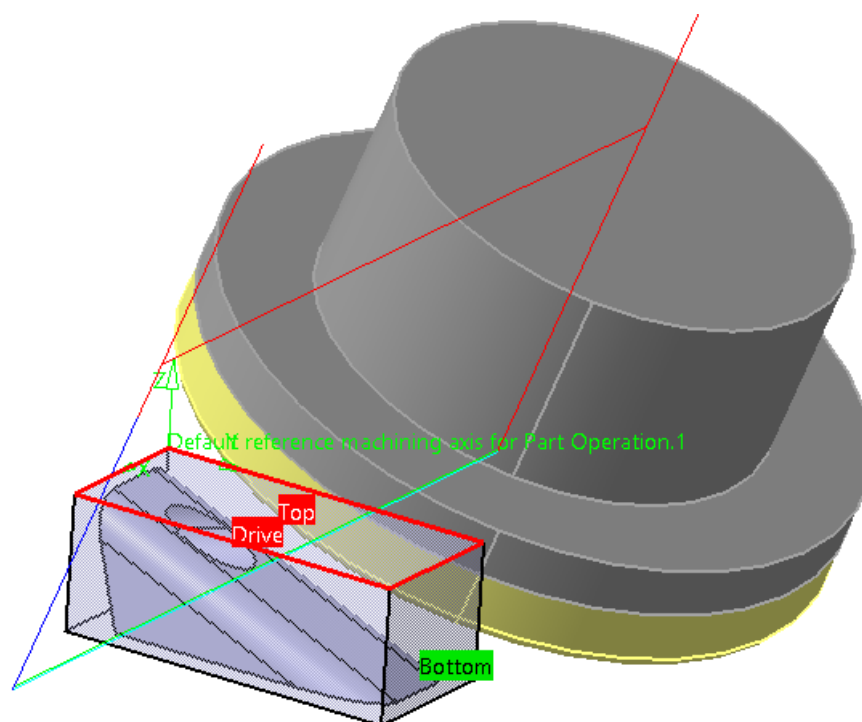


Figura 6-295. Sujeción larguero inferior 19c: Trayectoria de planeado

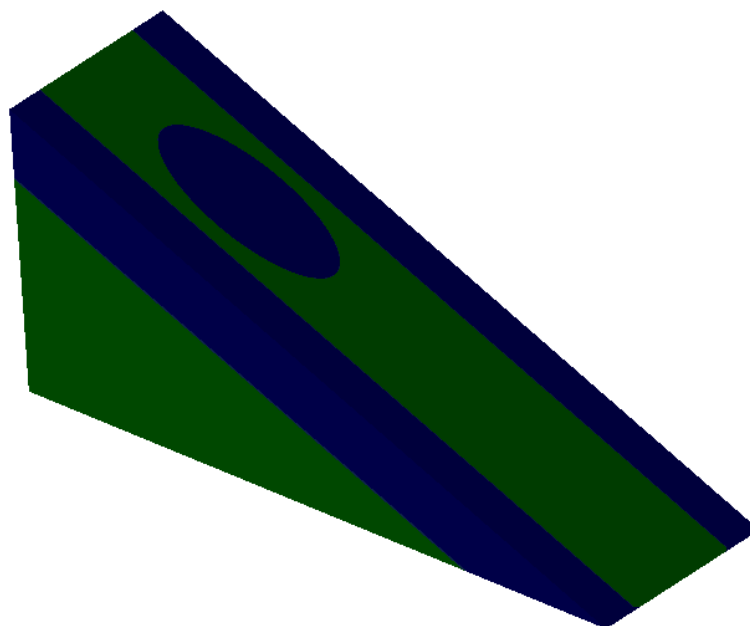


Figura 6-296. Sujeción larguero inferior 19c: Resultado de planeado

## 2. Vaciado (*Pocketing.1*):

- a. **Estrategia de mecanizado:** Helicoidal hacia fuera con tres pasadas de desbaste y tres de acabado (mecanizado en tres niveles axiales).
- b. **Geometría a mecanizar:** Vaciado de la cara superior.
- c. **Herramienta:** Fresa periférico-frontal AM2MBR0200A060 de Mitsubishi Materials (Figura 6-36, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- d. **Parámetros de corte:** Los definidos para mecanizado de aleaciones de aluminio con la herramienta de corte elegida (Figura 6-37, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- e. **Macros:** Macros de aproximación y retirada del usuario (6.4.1.7. *Macros en operaciones de mecanizado*).

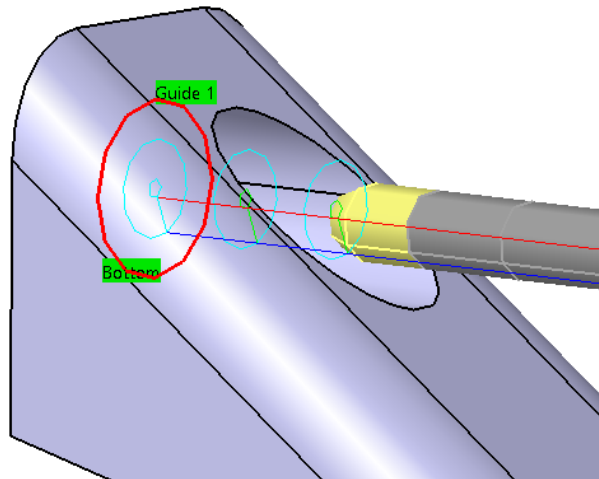


Figura 6-297. Sujeción larguero inferior 19c: Trayectoria de vaciado

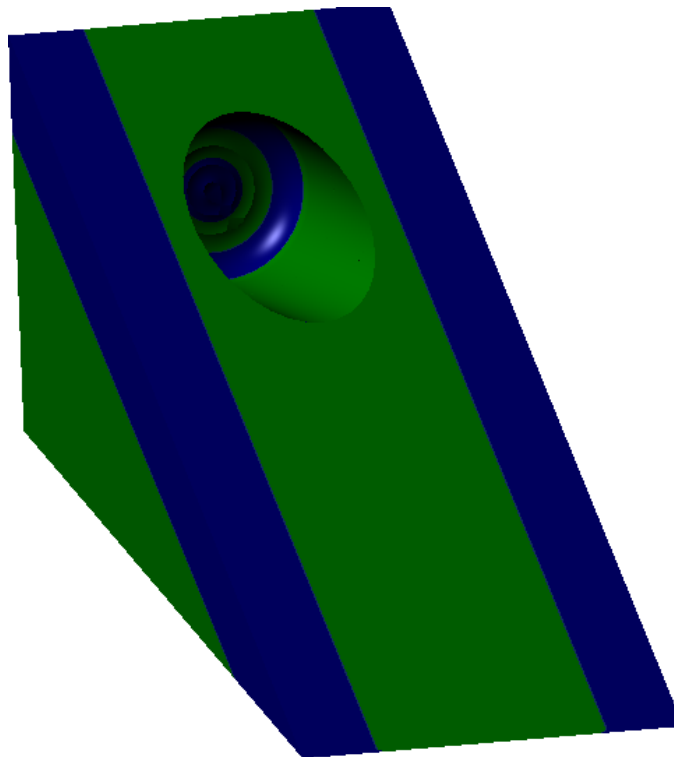


Figura 6-298. Sujeción larguero inferior 19c: Resultado de vaciado

Se puede mejorar el cavado superficial de esta operación, especialmente en la zona central (se soluciona con taladrado posterior) y perimetral de la base de la superficie mecanizada.

### 3. Mecanizado isoparamétrico (*Isoparametric Machinning.1*):

- a. **Estrategia de mecanizado:** Una pasada de desbaste en zig-zag.
- b. **Geometría a mecanizar:** Esquinas redondeadas de la parte superior de la pieza.
- c. **Herramienta:** Fresa periférico-frontal AM2MBR0200A060 de Mitsubishi Materials (Figura 6-36, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- d. **Parámetros de corte:** Los definidos para mecanizado de aleaciones de aluminio con la herramienta de corte elegida (Figura 6-37, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- e. **Macros:** Macros definidas por defecto en CATIA.



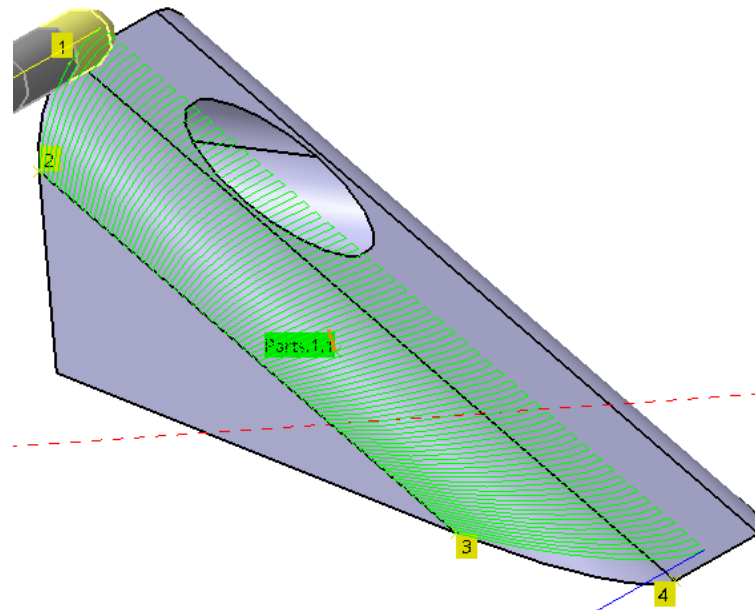


Figura 6-299. Sujeción larguero inferior 19c: Trayectoria mecanizado isoparamétrico

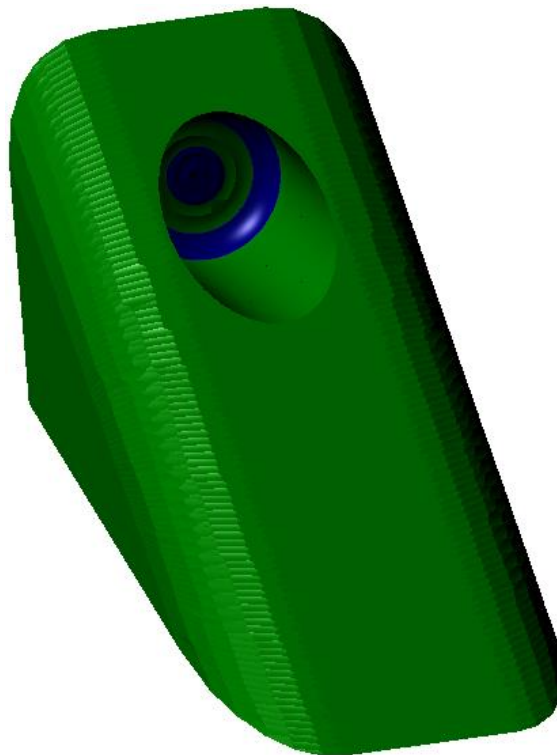


Figura 6-300. Sujeción larguero inferior 19c: Resultado mecanizado isoparamétrico

#### 4. Taladrado (*Drilling.1- Drilling.2*):

- a. **Estrategia de mecanizado:** Seguimos la siguiente secuencia de taladrado: 2.5-3.5mm.
- b. **Geometría a mecanizar:** Agujero de diámetro 3.5mm.
- c. **Herramientas:** Utilizaremos las brocas de UNCETA A2 2297 D2.5 y A2 2297 D3.5 (Figuras 6-42 a 6-50 apartado **6.3.3.5 Herramientas seleccionadas**).
- d. **Parámetros de corte:** Los definidos para mecanizado de aleaciones de aluminio con las herramientas de corte elegidas (Tabla 6-1, apartado **6.3.3.5 Herramientas seleccionadas**).
- e. **Macros:** Macros de aproximación y retirada del usuario (**6.4.1.7. Macros en operaciones de mecanizado**).

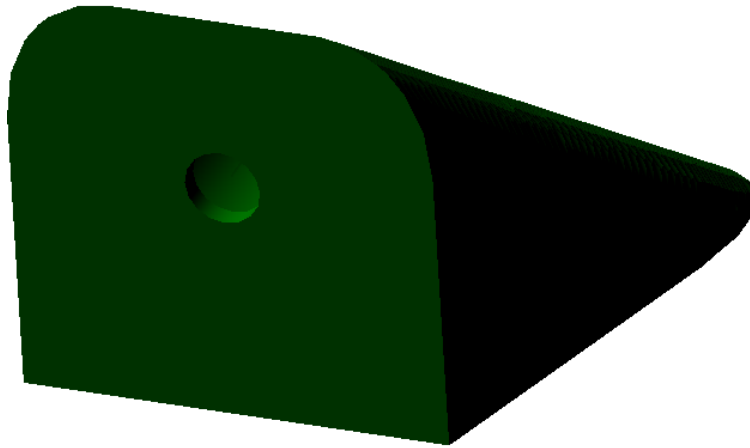


Figura 6-301. Sujeción larguero inferior 19c: Resultado de taladrado

Tras obtener esta pieza, realizaríamos la **soldadura** con la base taladrada.

#### 6.6.2.15.2 Sujeción larguerillos inferiores 19c

Véase apartado **6.6.2.2.4 Refuerzos inferiores 9**.

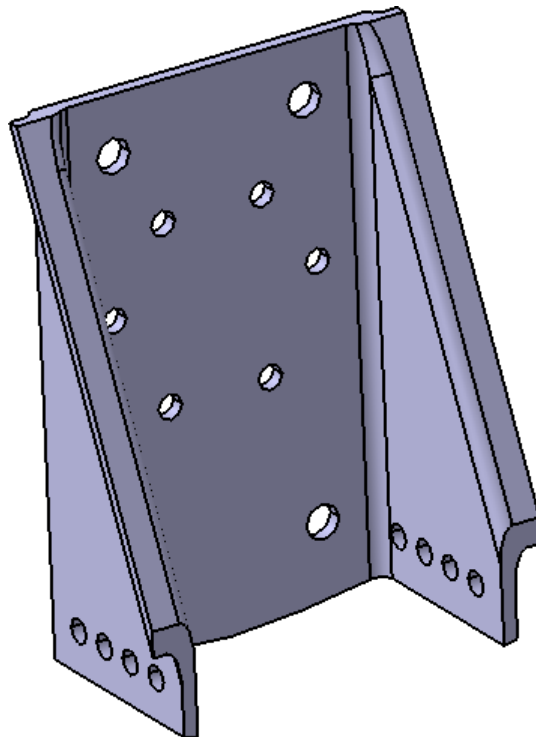


Figura 6-302. Sujeción larguerillos inferiores 19c modelada en CATIA

### 6.6.3 Largueros

Los largueros recorren el fuselaje longitudinalmente y sirven como unión entre las cuadernas. Debido a defectos como la elongación de agujeros de unión u otros derivados de la corrosión, lo normal es fabricar nuevos largueros. Podemos proceder de diferentes formas:

1. Fabricación sujeta a planos disponibles para nuestro modelo de avión (que en nuestro caso podemos obtener de los modelos CAD desarrollados).
2. Toma de medidas situando todas las cuadernas en su posición definitiva (con ayuda de un útil de posicionamiento correctamente calibrado) y posterior fabricación.

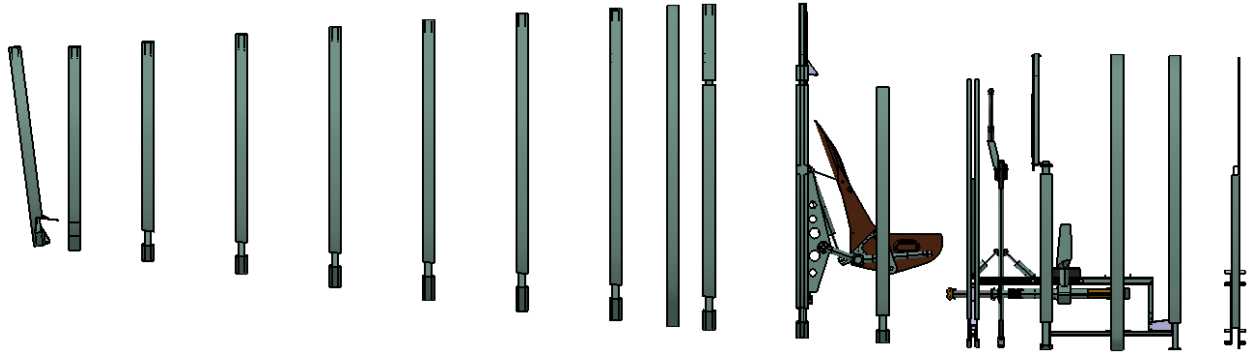


Figura 6-303. Cuadernas colocadas en su posición final

De cualquier modo, la fabricación de los largueros implica la realización de operaciones del apartado **6.4.2. Operaciones no simuladas**, concretamente **laminado**, **extrusión** y **estirado** de metales y **conformado** de chapa, que no podemos realizar en una máquina de control numérico. Por esta razón, no se simularán las operaciones de fabricación implicadas, encargándose la realización de esta tarea a un proveedor de perfiles de aluminio, en base a planos o medidas obtenidas.

La unión con la estructura principal del fuselaje se realiza mayormente mediante remaches de 2.38mm. En el caso de los largueros inferiores y laterales se utilizan escuadras para efectuar la unión entre dichos largueros y las cuadernas, mientras que para los largueros superiores se usan los refuerzos superiores instalados previamente en las cuadernas.

#### 6.6.3.1 Larguero inferior 1 (rediseñado)

Uno a cada lado del avión, recorren la parte inferior del fuselaje desde la cuaderna 10 a la 19c.

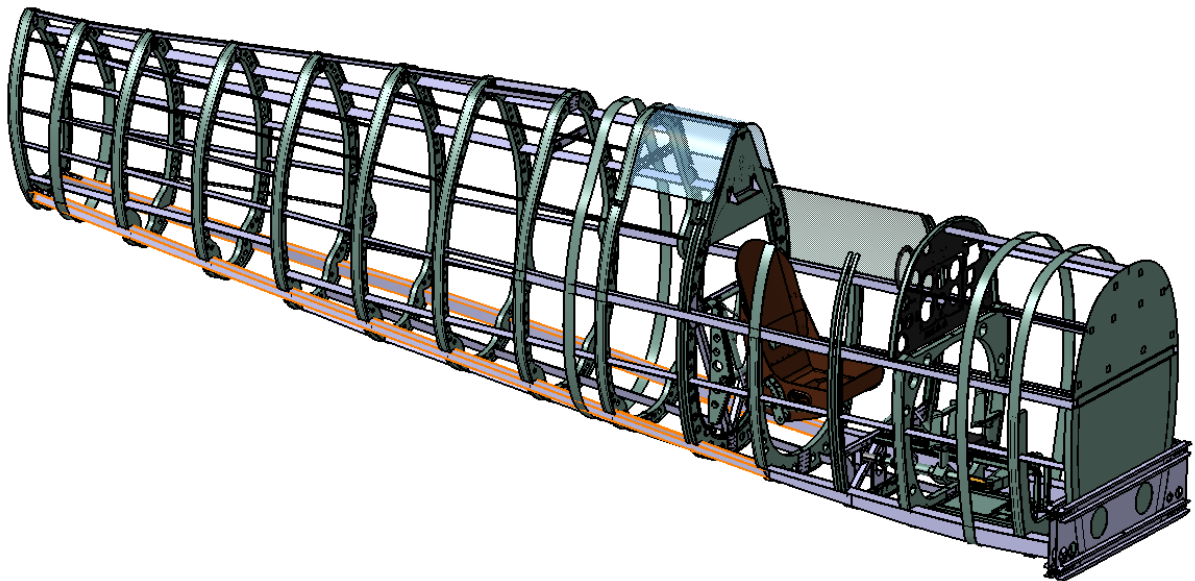


Figura 6-304. Larguero inferior 1 en el entorno del fuselaje

Se ha llevado a cabo un trabajo de rediseño eliminando las superficies anterior y posterior y añadiendo superficies laterales que permitan el remachado de las pieles:

- **Shell.1:** Modificamos esta operación marcando las caras anterior y posterior como caras a eliminar.

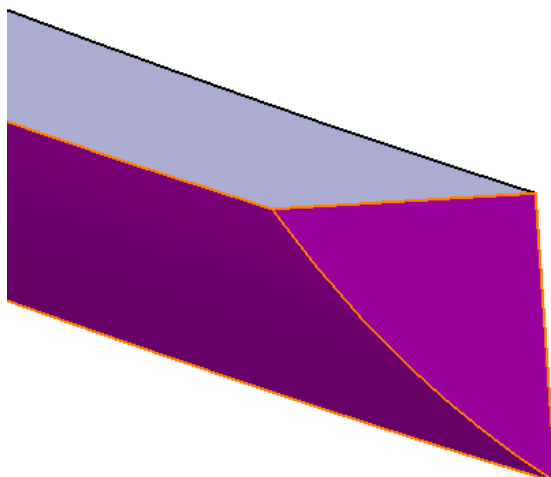


Figura 6-305. Larguero inferior 1: Modificación de operación *Shell*

- Añadimos operaciones **Rib** para conseguir las superficies laterales mencionadas. Creamos dos perfiles que se adecuen a la curvatura seguida por la piel metálica que cubre el fuselaje y seleccionamos como guías las propias aristas exteriores del larguero. La selección de las aristas se hace a tramos, para evitar colisiones del larguero con las cuadernas (para no dilatar el proceso de rediseño, nos quedamos con los tramos entre las cuadernas 10-11 y 11-12, que nos servirán más tarde para ilustrar las operaciones de ensamblaje).

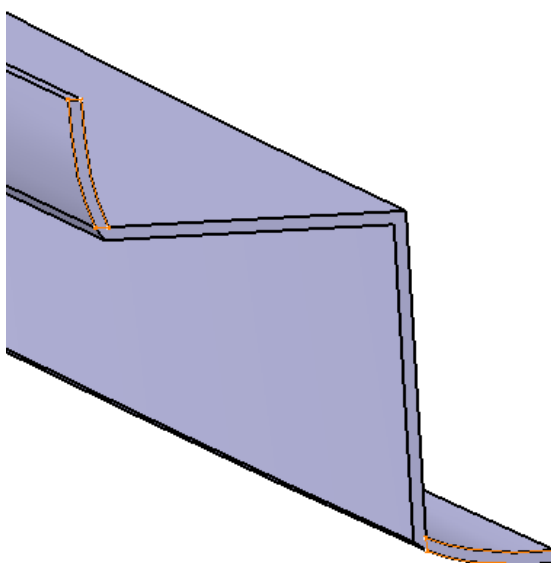


Figura 6-306. Larguero inferior 1: Detalles operaciones *Rib*

### 6.6.3.2 Larguero inferior 2 (rediseñado)

También hay uno a cada lado del avión, pero en este caso, se extienden desde la cuaderna 5 a la 10.

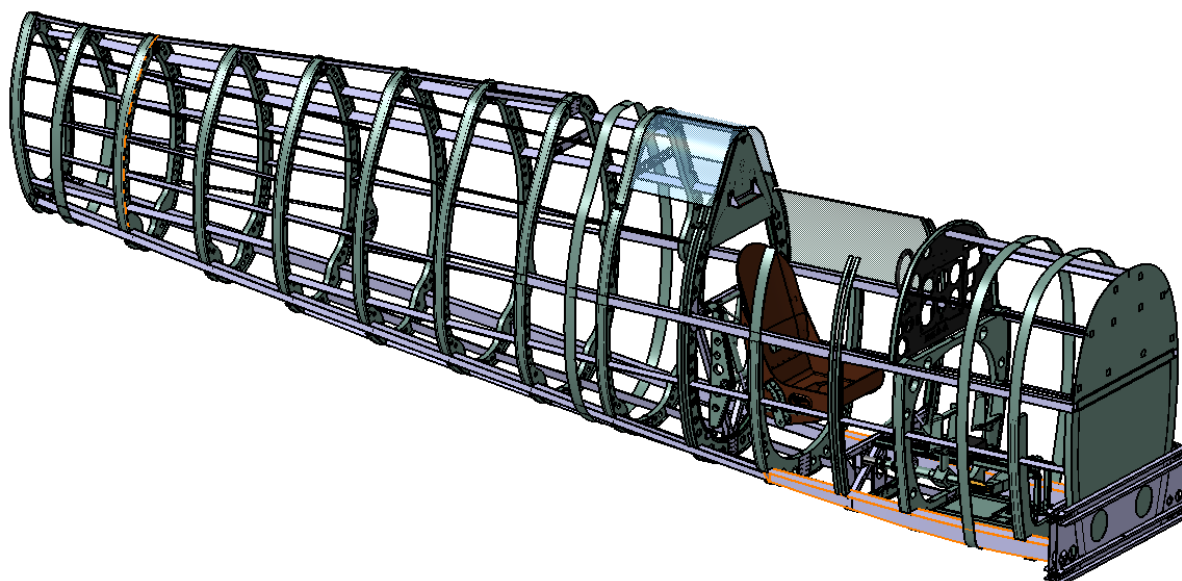


Figura 6-307. Larguero inferior 2 en el entorno del fuselaje

Rediseñamos este componente en la misma línea que el anterior, eliminando las caras anterior y posterior y añadiendo superficies laterales que permitan el remachado de las pieles, en este caso en el tramo comprendido entre las cuerdas 9 y 10.

### 6.6.3.3 Larguero superior principal

Este larguero se extiende desde la cuaderna 14 a la 19c, recorriendo la parte superior de la aeronave.

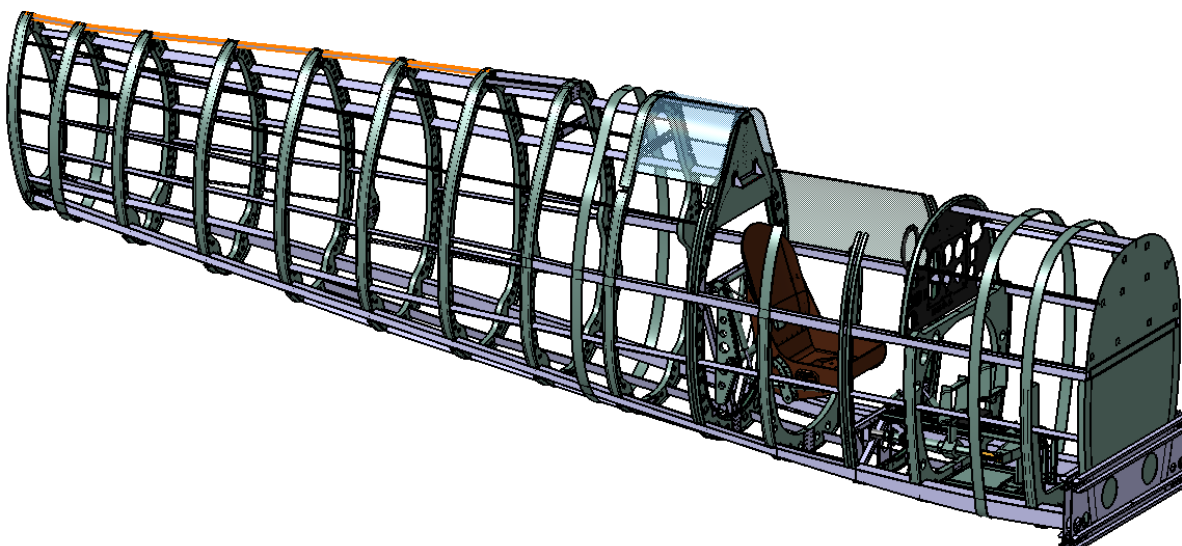


Figura 6-308. Larguero superior principal en el entorno del fuselaje

Este larguero difiere en su forma respecto de los anteriores, En este caso se trata de un perfil hueco, que queda remachado a los refuerzos superiores de las cuerdas.

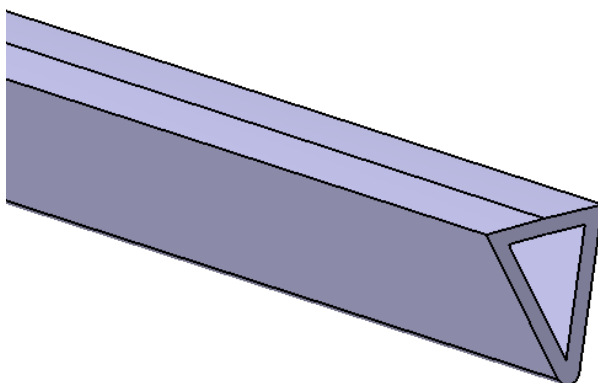


Figura 6-309. Larguero superior principal en detalle

#### 6.6.3.4 Larguero superior 11-12

Como su nombre indica, este larguero une las cuadernas 11 y 12.

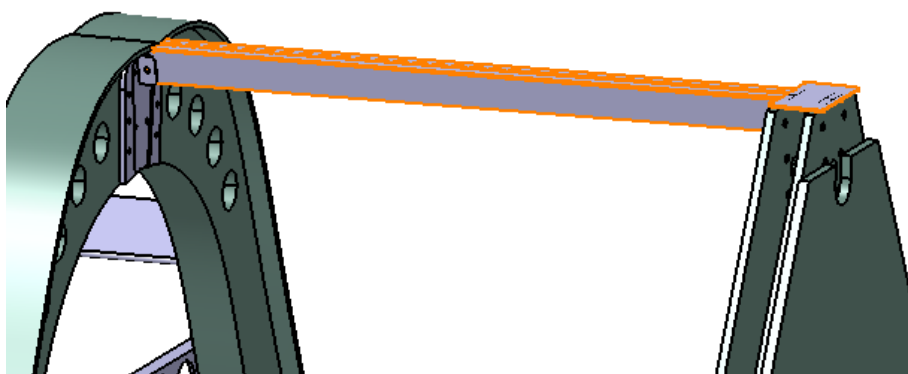


Figura 6-310. Larguero superior 11-12

Su principal particularidad es la prolongación que lleva en el extremo que se coloca sobre la cuaderna 11, una pequeña chapa que permite su colocación sobre la cuaderna en cuestión.

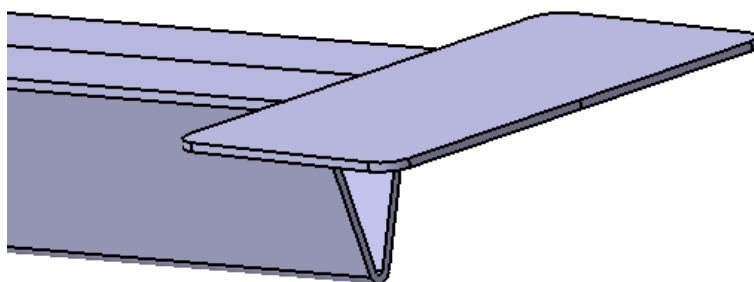


Figura 6-311. Larguero superior 11-12 en detalle

#### 6.6.3.5 Larguero lateral (rediseñado)

Recorre la aeronave aproximadamente a media altura entre las cuadernas 5 y 13.

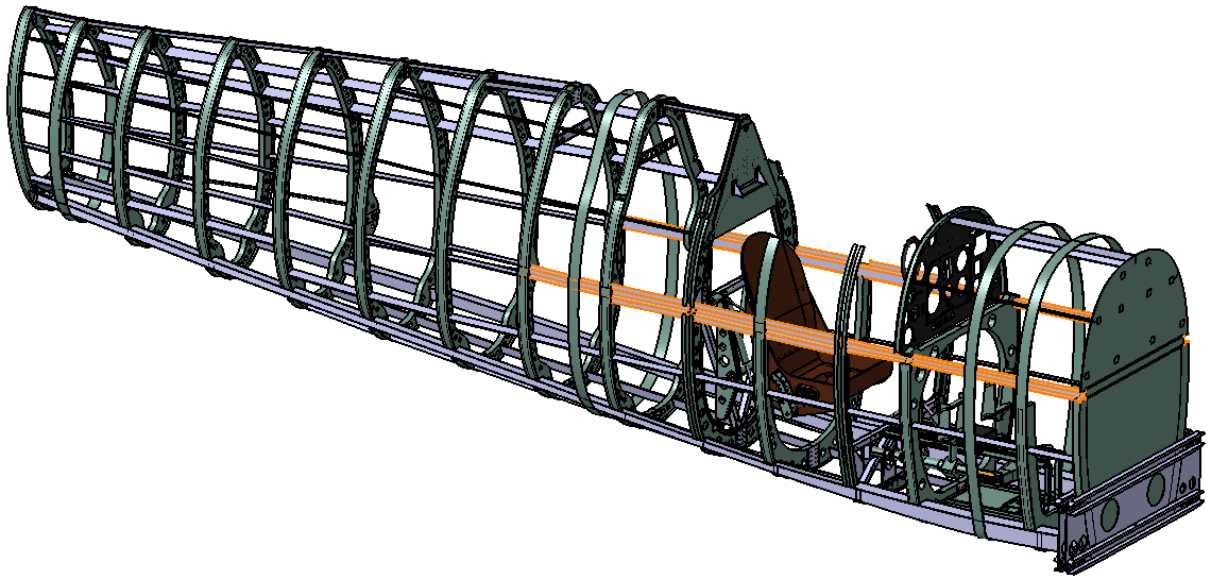


Figura 6-312. Larguero lateral en el entorno del fuselaje

El rediseño llevado a cabo en el caso de este larguero sigue un proceso parecido al llevado a cabo con los largueros inferiores:

- **Shell.1:** En este caso, ya se habían eliminado las caras anterior y posterior. No así con la cara lateral externa que será la seleccionada en la operación como una nueva cara a eliminar (nos queda un perfil en “U”).

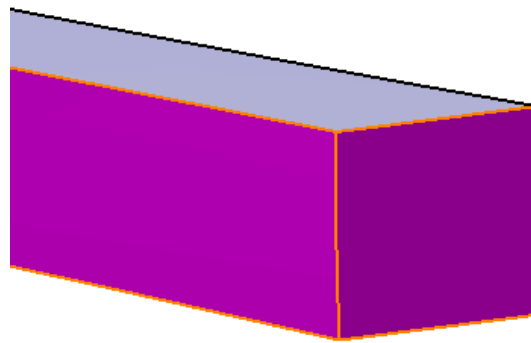


Figura 6-313. Larguero lateral: Modificación de operación *Shell*

- Añadimos operaciones **Rib** tal y como hicimos en el caso de los largueros inferiores. En este caso, añadimos los tramos comprendidos entre las cuadernas 9-10, 10-11 y 11-12.



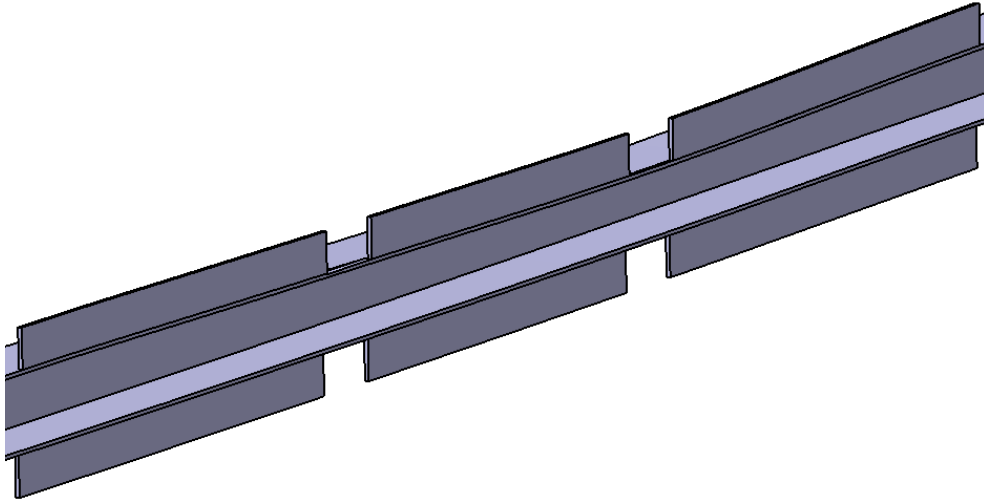


Figura 6-314. Larguero lateral: Detalles operaciones *Rib*

#### 6.6.4 Larguerillos (rediseñados)

Se extienden longitudinalmente entre todas las cuadernas y sirven de sujeción para las pieles metálicas del fuselaje (la unión se realiza en su mayoría mediante remaches de 3.18mm y diámetro de la cabeza 5.84mm). Al igual que ocurría con los largueros inferiores y laterales, la unión entre los larguerillos y las cuadernas se efectúa mediante el uso de escuadras y remaches de 2.38mm.

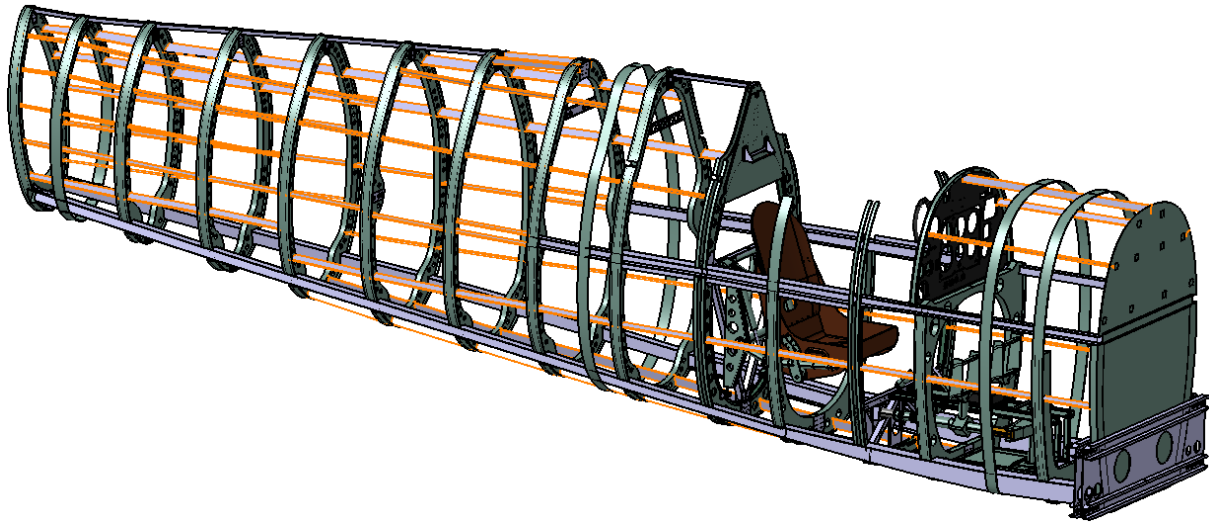


Figura 6-315. Larguerillos en el entorno del fuselaje

Igualmente, los larguerillos deben tener superficies laterales sobre las que se remachan las pieles. Por tanto, nos vemos obligados a llevar a cabo una labor de rediseño con el objetivo de añadirles estas superficies. Para ello, modificaremos el perfil con el que se hacen las consecutivas operaciones *rib* que dan como resultado el conjunto de larguerillos. Para no dilatar en el tiempo esta tarea, rediseñaremos los larguerillos que se disponen entre las cuadernas 9 y 12 (9-10, 10-11 y 11-12).

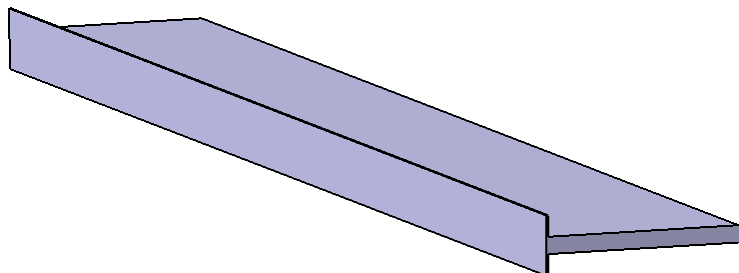


Figura 6-316. Larguerillos: Detalle rediseño



### 6.6.5 Panel de instrumentos

Como su nombre indica, es el panel en el que se encuentran los instrumentos de vuelo que permiten al piloto garantizar las condiciones de seguridad de un vuelo. Existen diferentes tipos de instrumentos:

- **De pilotaje:** Anemómetro, altímetro, indicador de velocidad vertical, inclinómetro, horizonte artificial...
- **De control de motor:** Indicadores de potencia y de estado del motor.
- **De navegación:** Brújula, indicador de rumbo, DME, ILS, piloto automático...

En este caso se simulará la fabricación del modelo realizado durante el TFG añadiendo los remaches y parte de la tornillería correspondiente. Se fabrica completamente en aluminio.

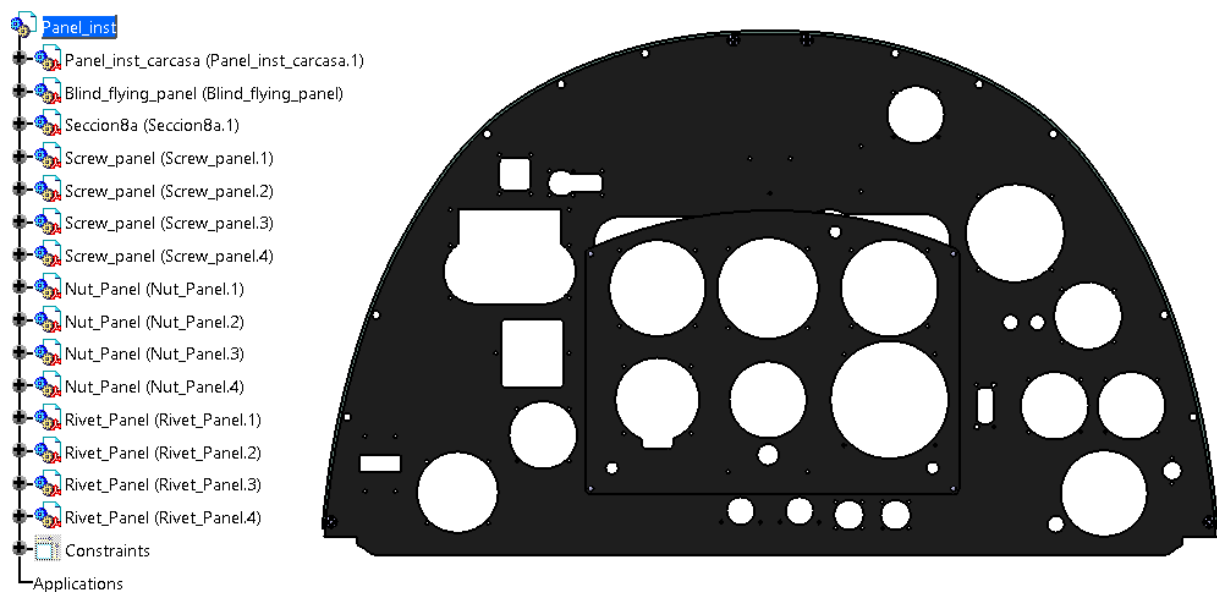


Figura 6-317. Panel de instrumentos modelado en CATIA

Como podemos observar los instrumentos no fueron modelados y no son objeto del proceso de fabricación detallado a continuación, sino que se adquieren de acuerdo a la normativa vigente y se acoplan a nuestro panel. De acuerdo a esta información, el panel podría ser modificado según los instrumentos con los que vaya a ser equipado, nosotros reproducimos el panel original del caza.

### 6.6.5.1 Sección 8a

La sección 8a es un marco de aluminio de 20mm de grosor cuyo contorno sigue las pautas marcadas en los planos del Spitfire Mk IX. A esta sección se une de forma atornillada la parte 1 del panel de instrumentos.

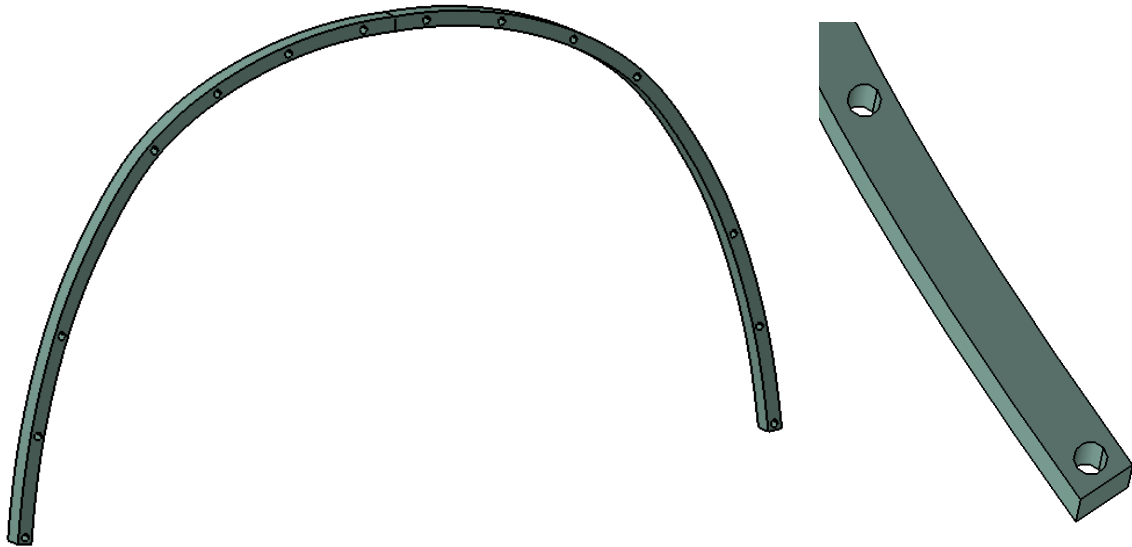


Figura 6-318. Sección 8a modelada en CATIA

Partimos de la siguiente preforma: base rectangular de 516 x 872mm y altura 22mm.

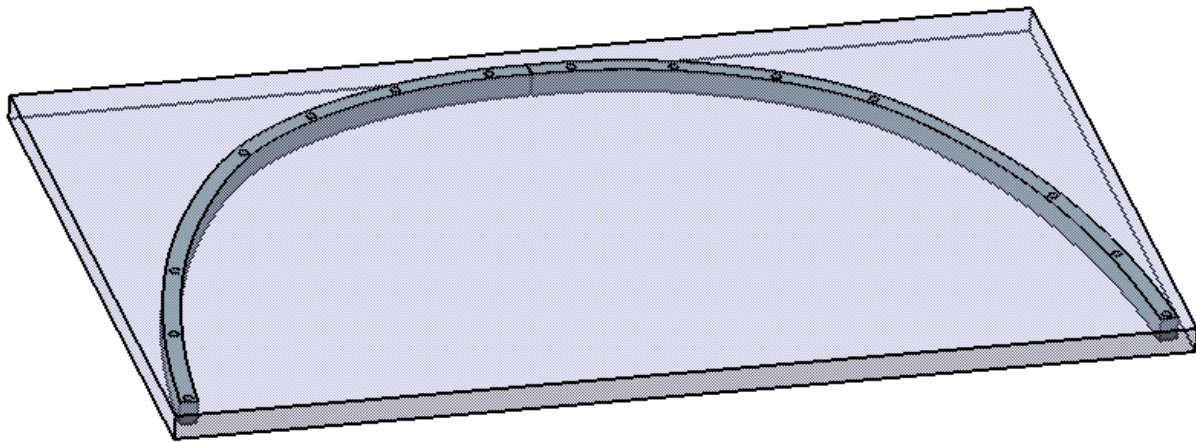


Figura 6-319. Sección 8a: Preforma

A continuación se muestran las sucesivas operaciones de mecanizado realizadas.

#### 1. Planeado por ambas caras (*Facing.1* y *Facing.2*):

- a. **Estrategia de mecanizado:** Ida y vuelta con una pasada de desbaste y una de acabado.
- b. **Geometría a mecanizar:** Caras superior e inferior de la preforma, eliminando 1mm de material en cada cara.
- c. **Herramienta:** Fresa de planeado ASX400-100B10R de Mitsubishi Materials (Figura 6-28, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- d. **Parámetros de corte:** Los definidos para mecanizado de aleaciones de aluminio con la herramienta de corte elegida (Figura 6-29, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- e. **Macros:** Utilizamos las macros de aproximación y retirada del usuario (6.4.1.7. *Macros en operaciones de mecanizado*).

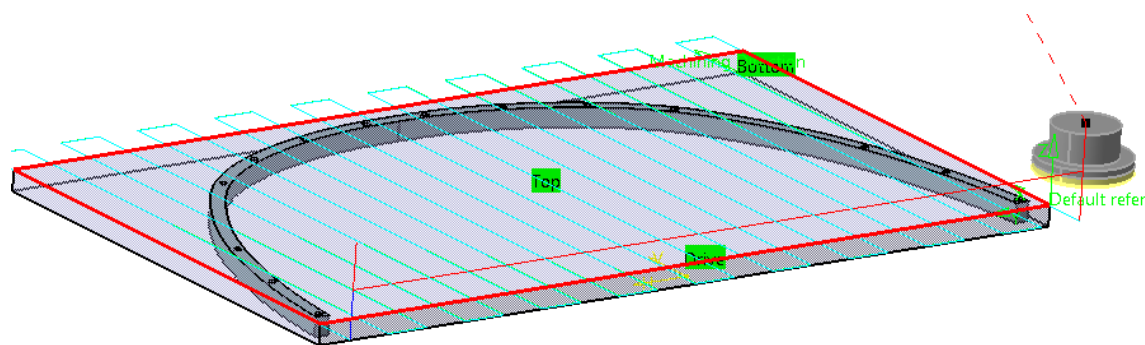


Figura 6-320. Sección 8a: Trayectoria de planeado

## 2. Contorneado (*Profile Contouring.1*):

- a. **Estrategia de mecanizado:** En un solo sentido con una pasada de desbaste y una de acabado, que cubren toda la profundidad axial del corte.
- b. **Geometría a mecanizar:** Contorno exterior del marco metálico.
- c. **Herramienta:** Fresa periférico-frontal IMX25C3A280R32023 de Mitsubishi Materials (Figura 6-30, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- d. **Parámetros de corte:** Los definidos para mecanizado de aleaciones de aluminio con la herramienta de corte elegida (Figura 6-31, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- e. **Macros:** Macros de aproximación y retirada del usuario (6.4.1.7. *Macros en operaciones de mecanizado*).

En las siguientes figuras se muestran la trayectoria de mecanizado y el resultado de la operación.

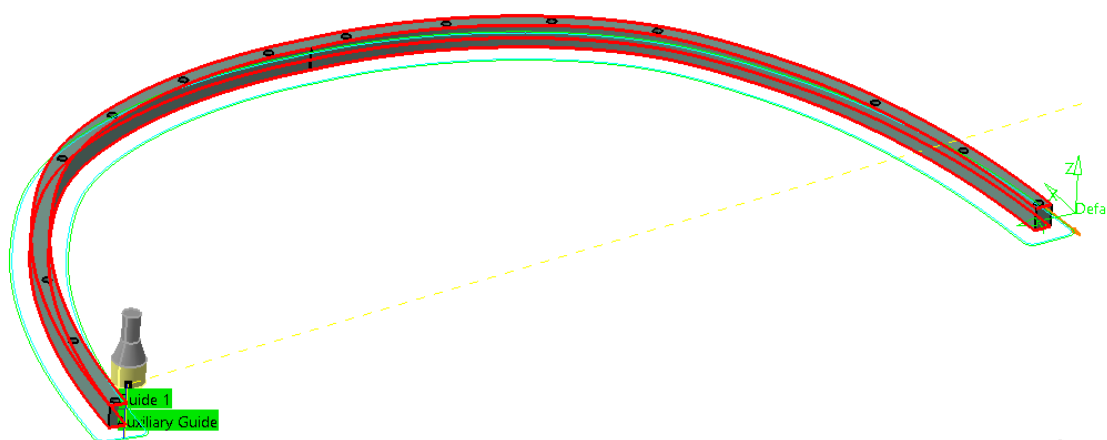


Figura 6-321. Sección 8a: Trayectoria de contorneado

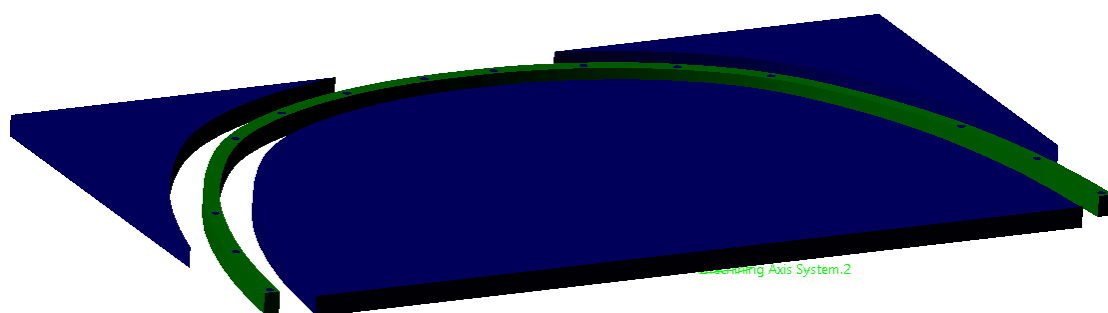


Figura 6-322. Sección 8a: Resultado de contorneado

### 3. Taladrado y escariado (*Drilling.1- Drilling.4, Reaming.1*):

- a. **Estrategia de mecanizado:** Seguimos una secuencia de taladrado que aumenta progresivamente el diámetro del agujero para asegurar la calidad del resultado y posteriormente usamos un escariador para dar buen acabado superficial. La secuencia es: 2.5, 3.1, 5 y 8mm. Transición entre agujeros a 10mm de la pieza.
- b. **Geometría a mecanizar:** Los agujeros de 8mm del marco.
- c. **Herramientas:** Utilizaremos las brocas de UNCETA A2 2297 D2.5, A2 2297 D3.1, A2 2060 D5 y A2 2060 D8 y el escariador UNCETA A6 6260 D8 (Figuras 6-42 a 6-55, apartado **6.3.3.5 Herramientas seleccionadas**).
- d. **Parámetros de corte:** Los definidos para mecanizado de aleaciones de aluminio con las herramientas de corte elegidas (Tablas 6-1 y 6-2, apartado **6.3.3.5 Herramientas seleccionadas**).
- e. **Macros:** Las mismas que para contorneado.

Se muestra a continuación la trayectoria de taladrado (que es la misma para cada secuencia y el posterior escariado) y el resultado obtenido al final del proceso.

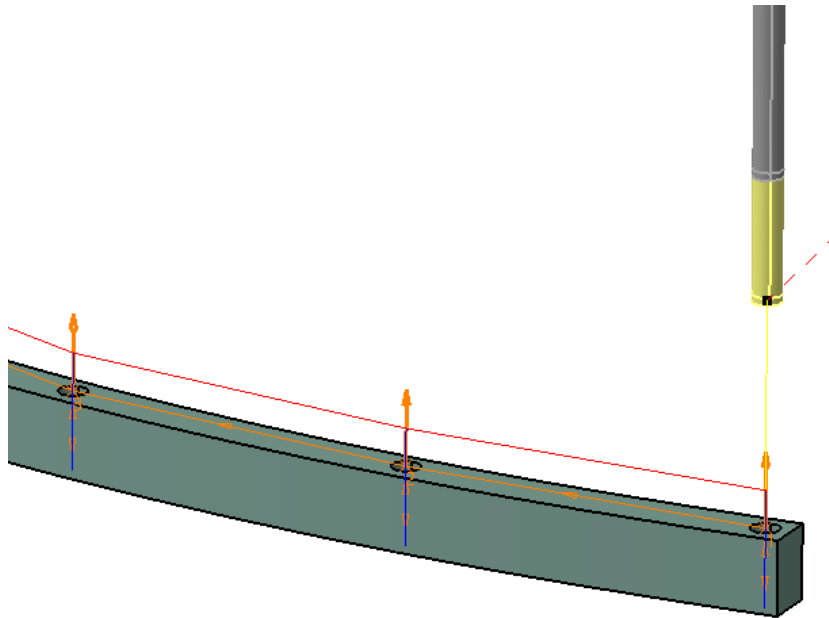


Figura 6-323. Sección 8a: Trayectoria de taladrado en detalle

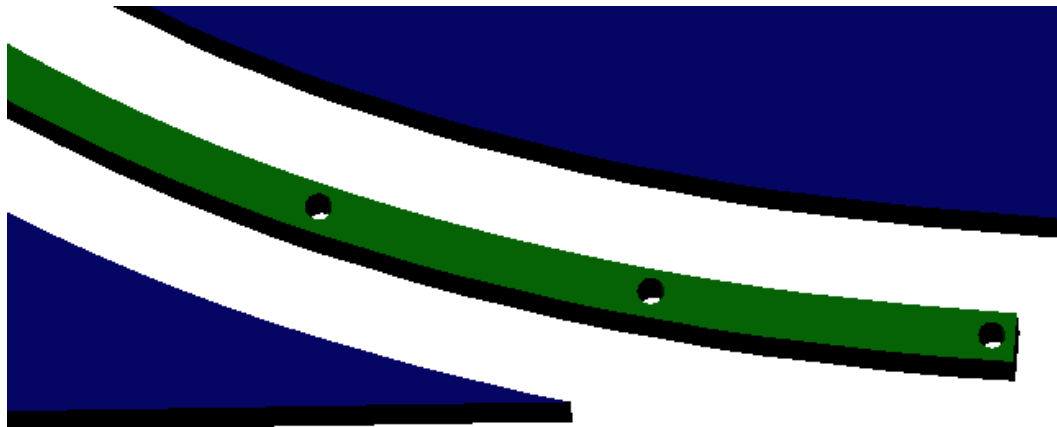


Figura 6-324. Sección 8a: Resultado de taladrado en detalle

Estos agujeros van roscados, por tanto, al tratarse de aluminio, deben llevar casquillos para evitar el desgaste del material en las operaciones de enroscado/denroscado.

### 6.6.5.2 Panel de instrumentos: Parte 1

La parte 1 del panel de instrumentos es la carcasa principal en la que se acoplan los instrumentos de vuelo. Esta parte se fija a la sección 8a mediante catorce tornillos de 8mm.

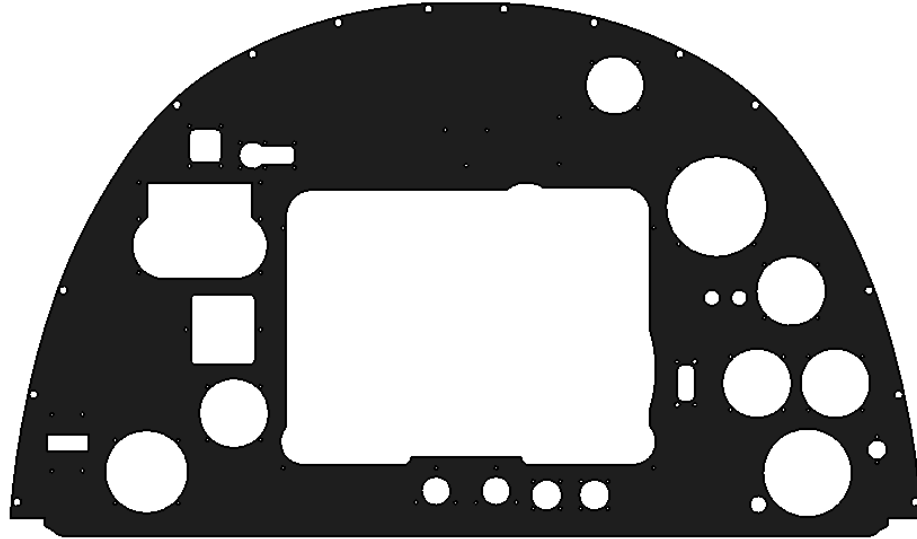


Figura 6-325. Parte 1 del panel de instrumentos modelada en CATIA

La preforma tiene base rectangular de 517 x 868mm y altura 7mm.

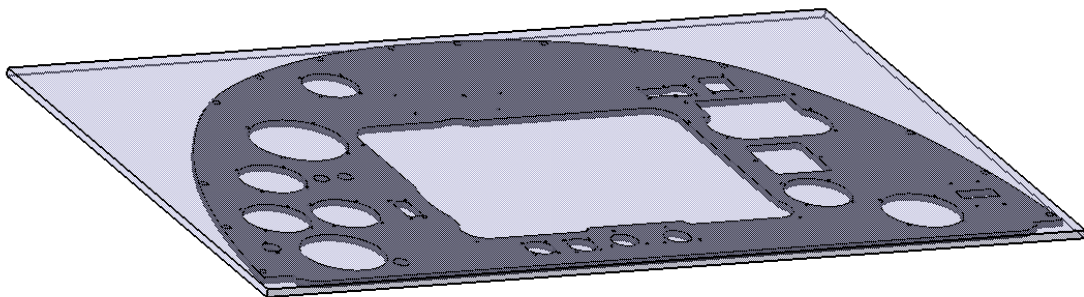


Figura 6-326. Parte 1 del panel de instrumentos: Preforma

Operaciones de mecanizado realizadas:

#### 1. Planeado (*Facing.1*):

- a. **Estrategia de mecanizado:** Ida y vuelta con una pasada de desbaste y una de acabado.
- b. **Geometría a mecanizar:** Cara superior de la preforma eliminando 1.62mm de material (la cara vista).
- c. **Herramienta:** Fresa de planeado ASX400-100B10R de Mitsubishi Materials (Figura 6-28, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- d. **Parámetros de corte:** Los definidos para mecanizado de aleaciones de aluminio con la herramienta de corte elegida (Figura 6-29, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- e. **Macros:** Macros de aproximación, retirada y aclarado del usuario (6.4.1.7. *Macros en operaciones de mecanizado*).

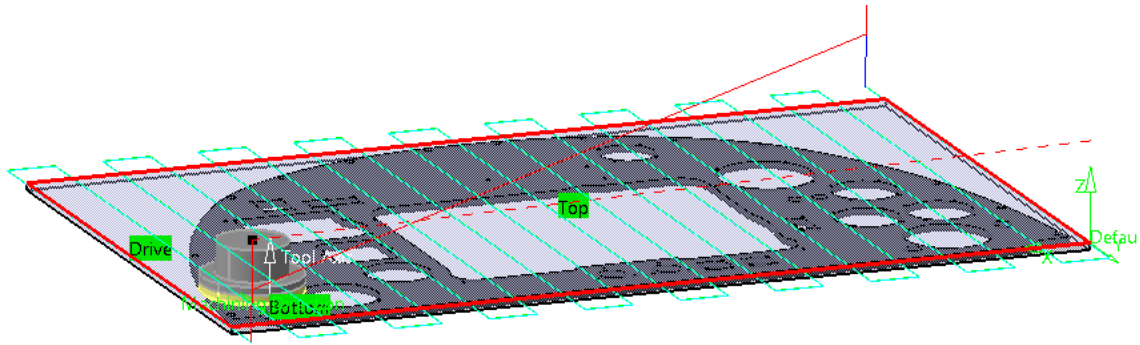


Figura 6-327. Parte 1 del panel de instrumentos: Trayectoria de planeado

## 2. Contorneado exterior (*Profile Contouring.1*):

- a. **Estrategia de mecanizado:** Zig-zag con dos pasadas de desbaste y dos de acabado (mecanizado en dos niveles axiales con una pasada de acabado en cada nivel).
- b. **Geometría a mecanizar:** Contorno exterior de la pieza en cuestión.
- c. **Herramienta:** Tomamos como referencia la fresa periférico-frontal AM2MBR0100A060 de Mitsubishi Materials (Figura 6-38, apartado **6.3.3.5 Herramientas seleccionadas**).
- d. **Parámetros de corte:** Los definidos para mecanizado de aleaciones de aluminio con la herramienta de corte elegida (Figura 6-39, apartado **6.3.3.5 Herramientas seleccionadas**).
- e. **Macros:** Macros de aproximación y retirada del usuario (**6.4.1.7. Macros en operaciones de mecanizado**).

A continuación se muestran la trayectoria de mecanizado seguida y el resultado obtenido.

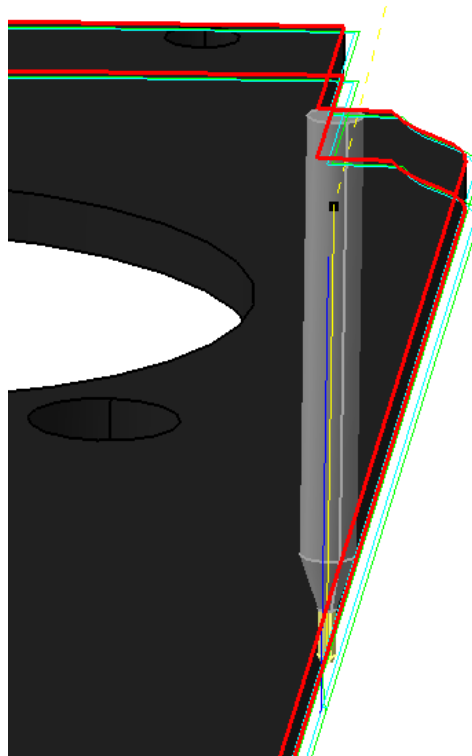


Figura 6-328. Parte 1 del panel de instrumentos: Trayectoria de contorneado exterior en detalle

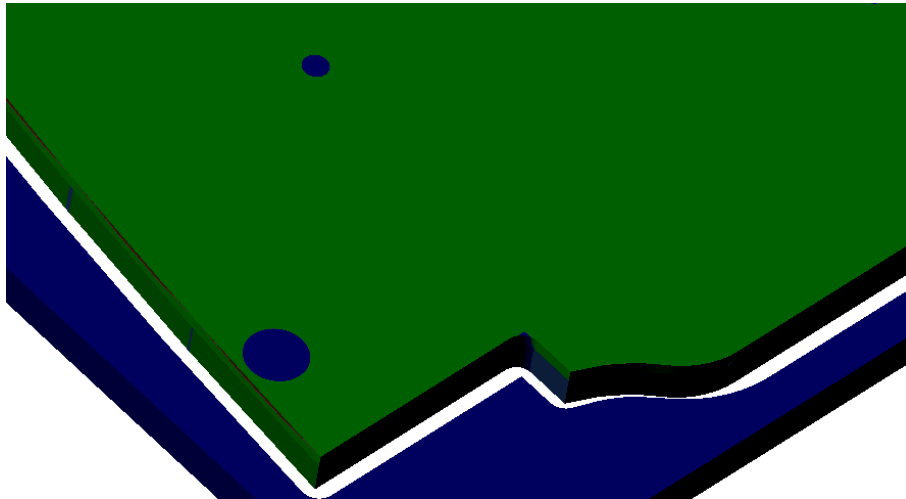


Figura 6-329. Parte 1 del panel de instrumentos: Resultado de contorneado exterior en detalle

En el análisis de material eliminado llama especialmente la atención el mecanizado de esquinas. Para eliminar aún más material, necesitaríamos una fresa de menor diámetro o realizar una operación de mecanizado adicional, por ejemplo, retrabajado de esquinas o mecanizado con abrasivos (lijado...).

### 3. Contorneado interior (*Profile Contouring.2- Profile Contouring.24*):

- a. **Estrategia de mecanizado:** Zig-zag con dos pasadas de desbaste y dos de acabado (mecanizado en dos niveles axiales con pasada de acabado en ambos).
- b. **Geometría a mecanizar:** Todos los vaciados excepto los agujeros de diámetro menor o igual a 8mm que se mecanizarán por taladrado y escariado.
- c. **Herramienta:** La misma que en la operación anterior (Figura 6-38, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- d. **Parámetros de corte:** Los definidos para la operación anterior (Figura 6-39, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- e. **Macros:** Macros de aproximación y retirada del usuario (6.4.1.7. *Macros en operaciones de mecanizado*).

A continuación se muestran la trayectoria de mecanizado seguida y el resultado obtenido.

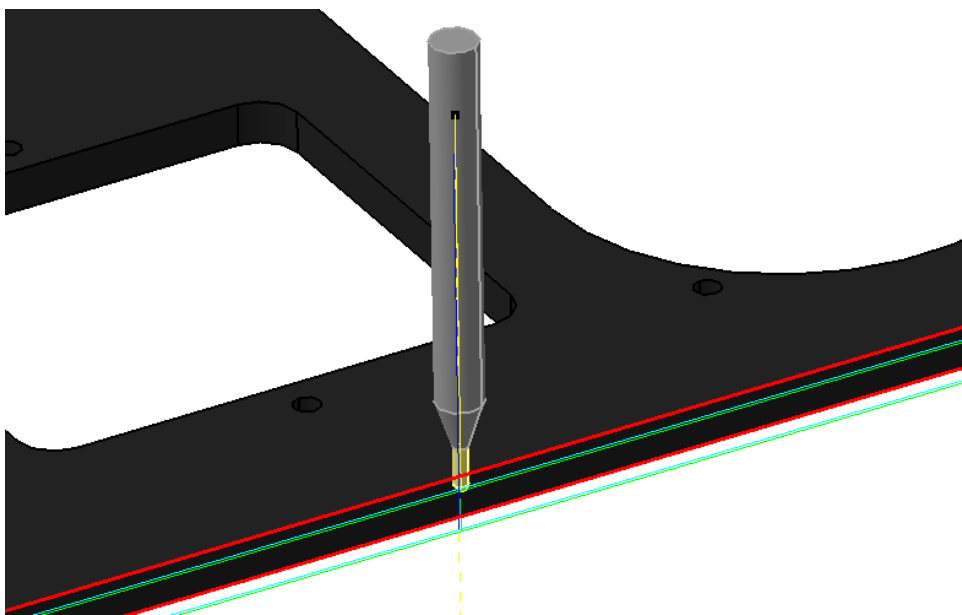


Figura 6-330. Parte 1 del panel de instrumentos: Trayectoria de contorneado interior en detalle



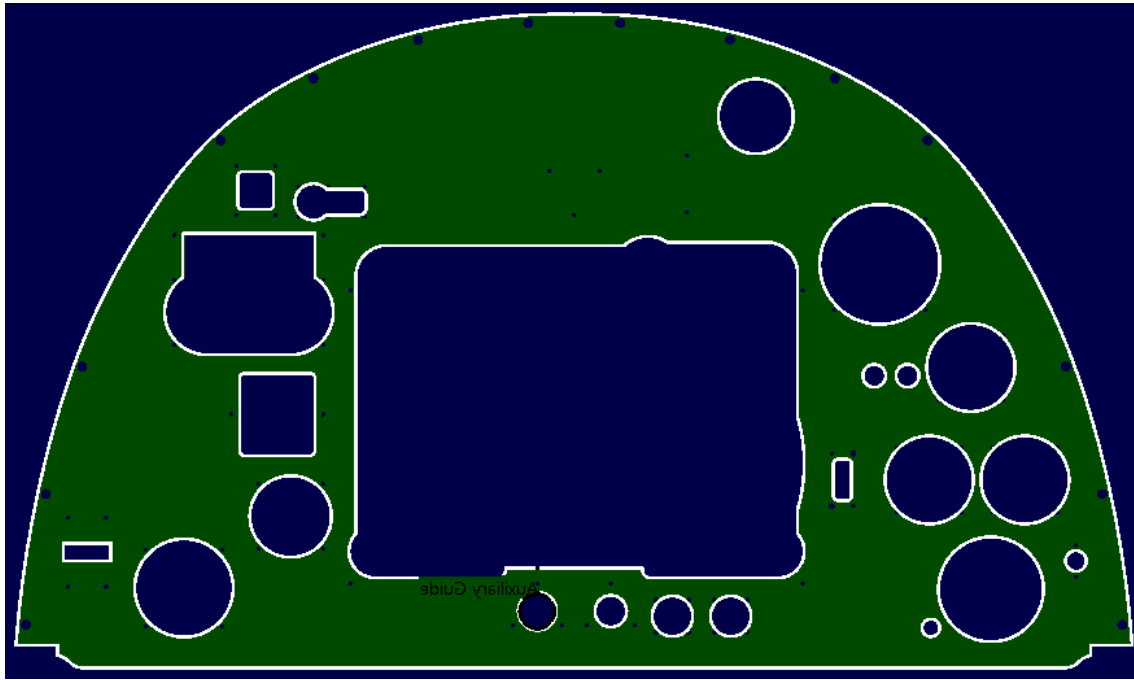


Figura 6-331. Parte 1 del panel de instrumentos: Resultado de contorneado interior

#### 4. Taladrado y escariado (*Drilling.1-Drilling.4, Reaming.1-Reaming.3*):

- a. **Estrategia de mecanizado:** Tenemos tres diámetros de agujero, 3.5, 5 y 8mm, por lo que las secuencias de taladrado serán, 2.5-3.5mm, 2.5-3.5-5mm y 2.5-3.5-5-8mm. Transición entre agujeros a 10mm de la pieza.
- b. **Geometría a mecanizar:** Agujeros de 3.5, 5 y 8mm.
- c. **Herramientas:** Utilizamos las mismas que en la sección 8a a excepción de la broca de 3.1mm y añadiendo la broca A2 2297 D3.5 y los escariadores A6 6260 D3.5 y A6 6260 D5 de UNCETA (Figuras 6-42 a 6-55, apartado **6.3.3.5 Herramientas seleccionadas**).
- d. **Parámetros de corte:** Los definidos para mecanizado de aleaciones de aluminio con las herramientas de corte elegidas (Tablas 6-1 y 6-2, apartado **6.3.3.5 Herramientas seleccionadas**).
- e. **Macros:** Macros de aproximación y retirada del usuario (**6.4.1.7. Macros en operaciones de mecanizado**).

A continuación se muestra la trayectoria y el resultado obtenido.

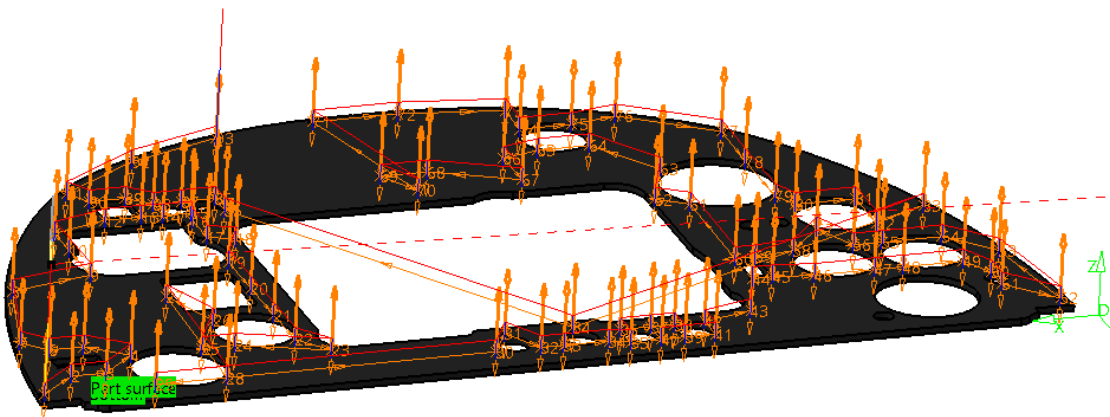


Figura 6-332. Parte 1 del panel de instrumentos: Trayectoria de taladrado y escariado



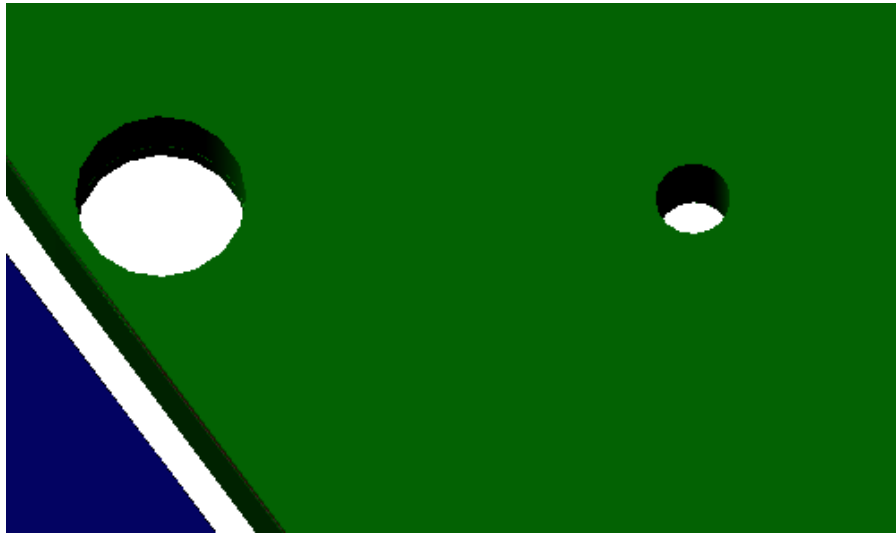


Figura 6-333. Parte 1 del panel de instrumentos: Resultado de taladrado y escariado en detalle

#### 6.6.5.3 Panel de instrumentos: Parte 2

La parte 2 del panel de instrumentos es la consola central del panel de instrumentos. Se une a la parte 1 mediante el uso de remaches.

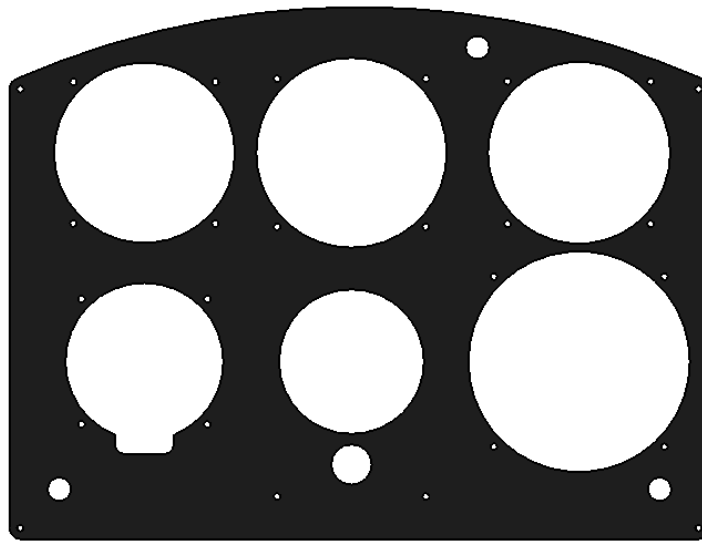


Figura 6-334. Parte 2 del panel de instrumentos modelada en CATIA

Utilizamos una preforma de base rectangular 291 x 376mm, y altura 5mm.

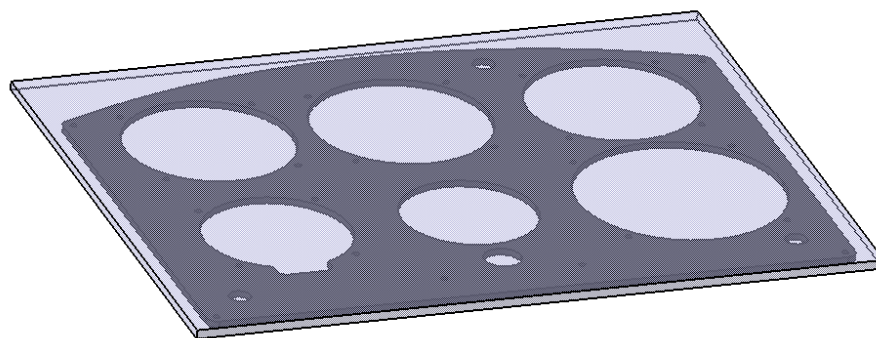


Figura 6-335. Parte 2 del panel de instrumentos: Preforma

### 1. Planeado (*Facing.1*):

- a. **Estrategia de mecanizado:** Ida y vuelta con una pasada de desbaste y una de acabado.
- b. **Geometría a mecanizar:** Cara superior de la preforma, eliminando 1.57mm de material.
- c. **Herramienta:** Fresa de planeado ASX400-100B10R de Mitsubishi Materials (Figura 6-28, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- d. **Parámetros de corte:** Los definidos para mecanizado de aleaciones de aluminio con la herramienta de corte elegida (Figura 6-29, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- e. **Macros:** Macros de aproximación, retirada y aclarado del usuario (6.4.1.7. *Macros en operaciones de mecanizado*).

A continuación se muestran la trayectoria de mecanizado seguida.

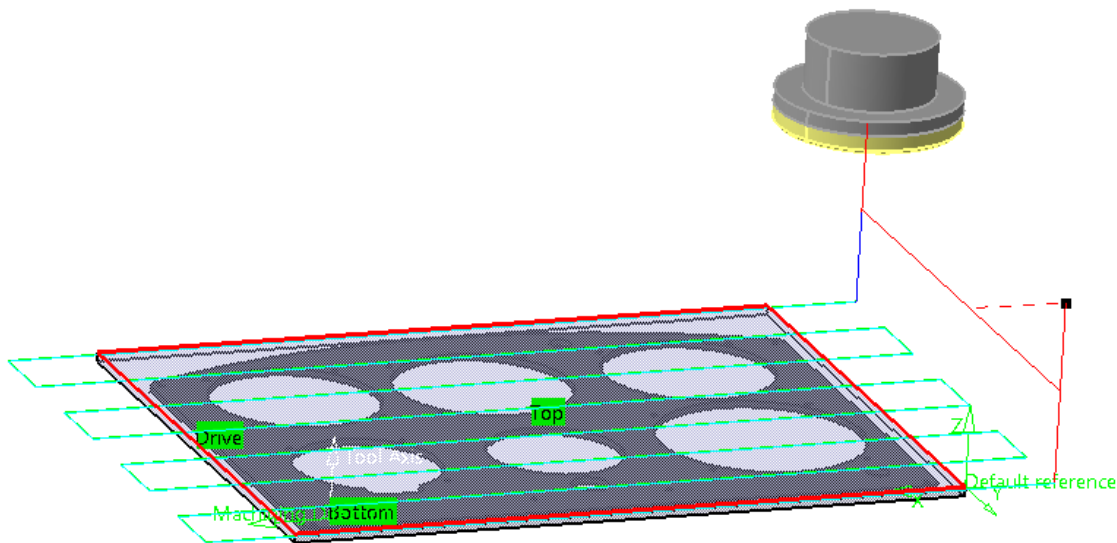


Figura 6-336. Parte 2 del panel de instrumentos: Trayectoria de planeado

### 2. Contorneado exterior (*Profile Contouring.1*):

- a. **Estrategia de mecanizado:** Zig-zag con una pasada de desbaste y una de acabado.
- b. **Geometría a mecanizar:** Contorno exterior del componente.
- c. **Herramienta:** La misma que en las operaciones de contorneado de la parte 1 del panel de instrumentos (Figura 6-38, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- d. **Parámetros de corte:** Los definidos para mecanizado de aleaciones de aluminio con la herramienta de corte elegida (Figura 6-39, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- e. **Macros:** Macros de aproximación y retirada del usuario (6.4.1.7. *Macros en operaciones de mecanizado*).

A continuación se muestra la trayectoria de mecanizado seguida.

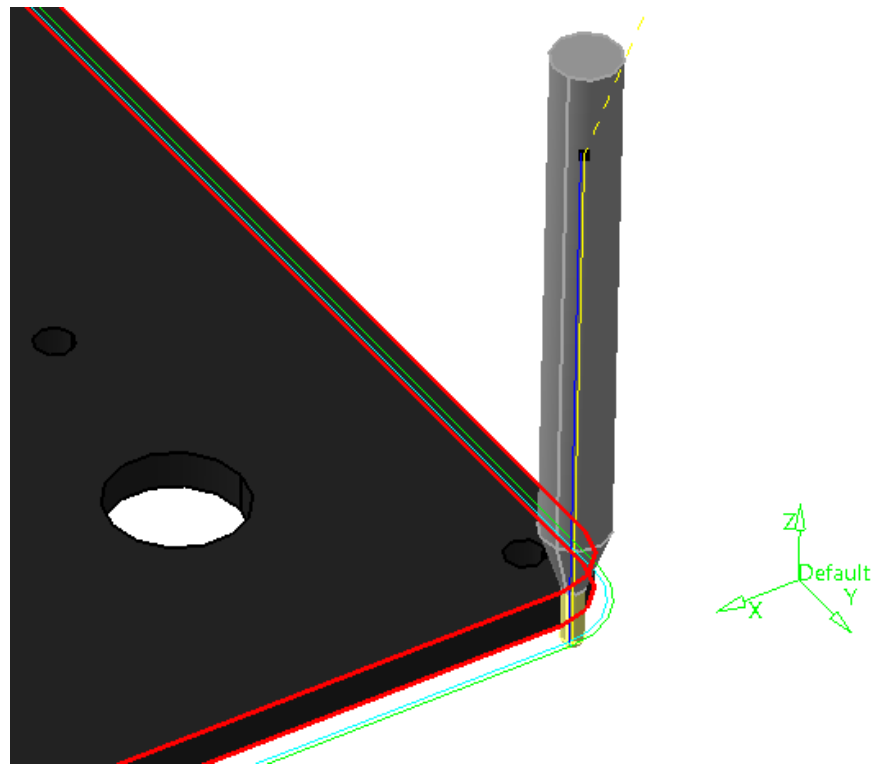


Figura 6-337. Parte 2 del panel de instrumentos: Trayectoria de contorneado exterior en detalle

**3. Contorneado interior (*Profile Contouring.2-Profile Contouring.11*):**

- a. **Estrategia de mecanizado:** Zig-zag con una pasada de desbaste y una de acabado.
- b. **Geometría a mecanizar:** Todos los vaciados, excepto los agujeros de 3.5mm que se harán mediante taladrado y escariado.
- c. **Herramienta:** La misma que en las operaciones de contorneado de la parte 1 del panel de instrumentos (Figura 6-38, apartado **6.3.3.5 Herramientas seleccionadas**).
- d. **Parámetros de corte:** Los definidos para mecanizado de aleaciones de aluminio con la herramienta de corte elegida (Figura 6-39, apartado **6.3.3.5 Herramientas seleccionadas**).
- e. **Macros:** Macros de aproximación y retirada del usuario (**6.4.1.7. Macros en operaciones de mecanizado**).

Se muestra a continuación la trayectoria de mecanizado y el resultado de ambas operaciones de contorneado.

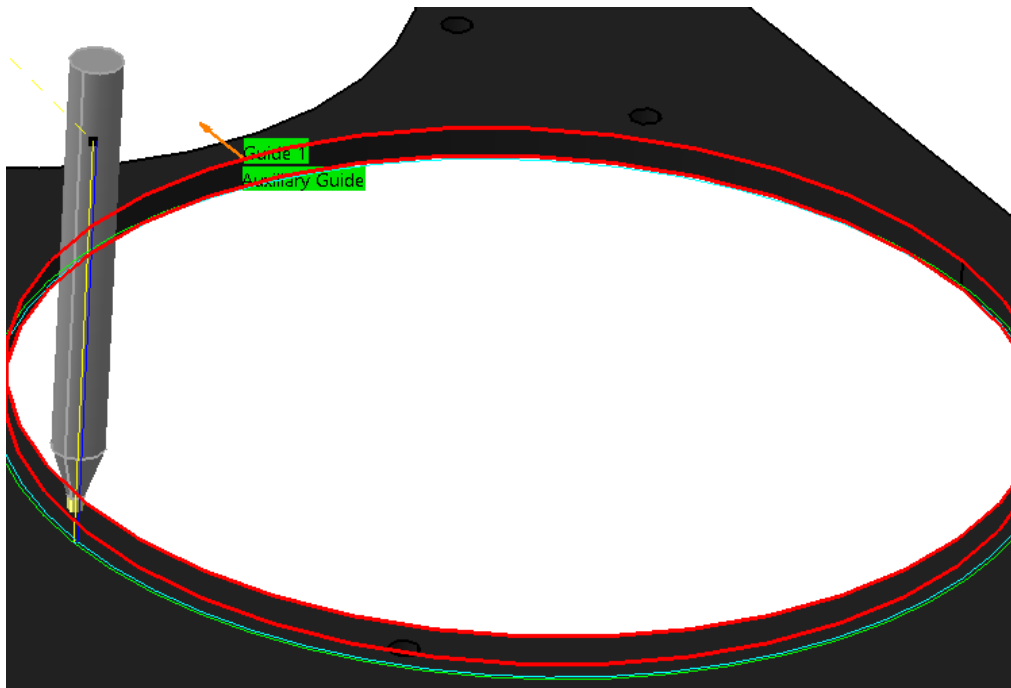


Figura 6-338. Parte 2 del panel de instrumentos: Trayectoria de contorneado interior en detalle

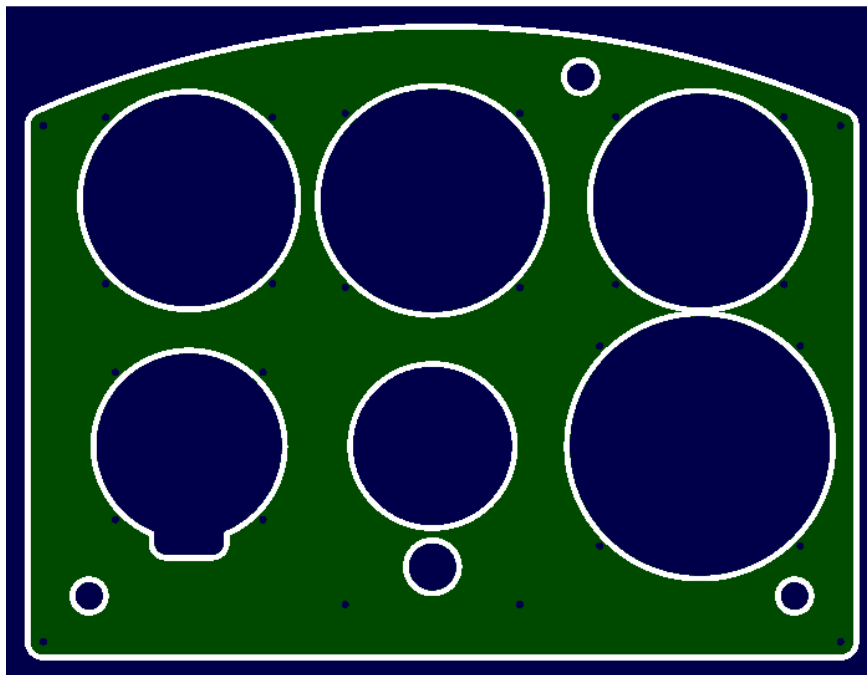


Figura 6-339. Parte 2 del panel de instrumentos: Resultado de contorneado exterior e interior

#### 4. Taladrado y escariado (*Drilling.1, Drilling.2, Reaming.1*):

- a. **Estrategia de mecanizado:** Secuencia de taladrado 2.5-3.5mm más el posterior escariado. Transición entre agujeros a 10mm de la pieza.
- b. **Geometría a mecanizar:** Todos los agujeros de 3.5mm.
- c. **Herramientas:** Brocas A2 2297 D2.5 y A2 2297 D3.5 y escariador A6 6260 D3.5 (Figuras 6-42 a 6-55, apartado **6.3.3.5 Herramientas seleccionadas**).
- d. **Parámetros de corte:** Los definidos para mecanizado de aleaciones de aluminio con la herramienta de corte elegida (Tablas 6-1 y 6-2, apartado **6.3.3.5 Herramientas seleccionadas**).
- e. **Macros:** Macros de aproximación y retirada del usuario (**6.4.1.7. Macros en operaciones de mecanizado**).

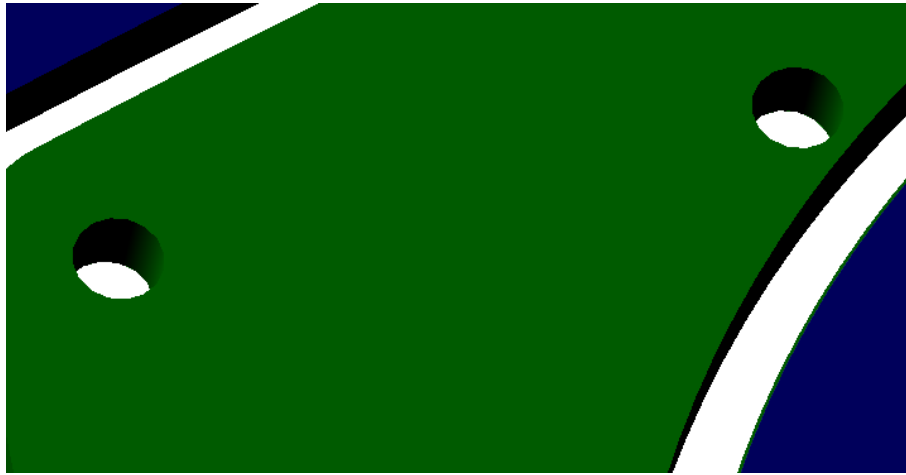


Figura 6-340. Parte 2 del panel de instrumentos: Resultado de taladrado y escariado en detalle

#### 6.6.5.4 Ensamblaje panel de instrumentos

Pasamos a describir el ensamblaje de piezas, una vez detallado sus respectivos procesos de fabricación.

Primero efectuamos la unión entre las partes 1 y 2 del panel de instrumentos, mediante cuatro remaches de 3.5mm. Se **pinzan** los cuatro puntos de unión y se inicia el proceso de **remachado** mediante el uso de sufridera y pistola para remachar, con la buterola adecuada para la cabeza del remache. Percutimos con la remachadora tipo pistola sobre la cabeza del remache mientras se sostiene una sufridera pegada al cuerpo del remache, al otro lado de la unión (**remachado indirecto**).

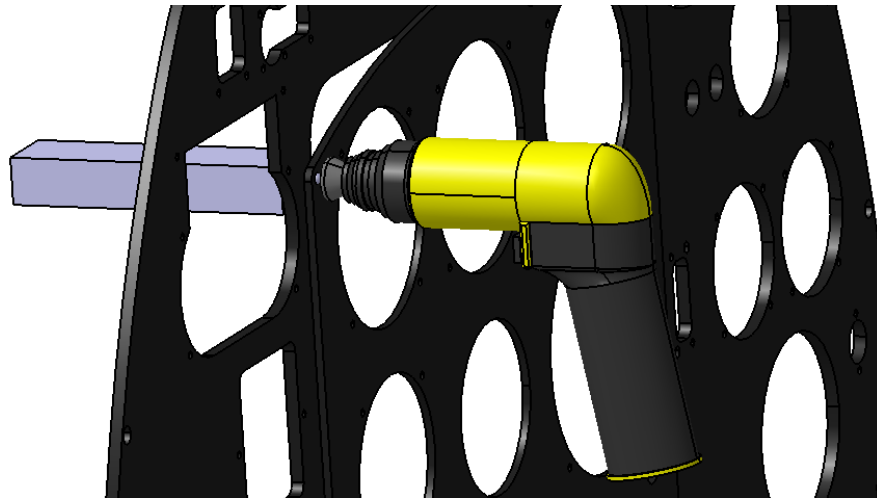


Figura 6-341. Panel de instrumentos: Remachado indirecto entre partes 1 y 2

Posteriormente unimos la sección 8a y la carcasa del panel de instrumentos mediante tornillos de 8 x 35mm, arandelas y tuercas (por si es necesario realizar desmontajes para inspección o renovación de instrumentos).

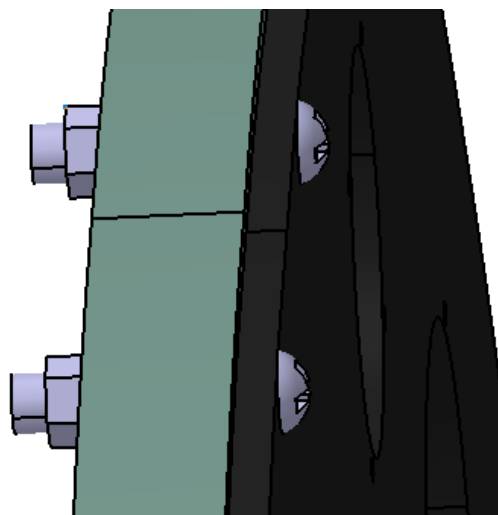


Figura 6-342. Panel de instrumentos: Unión atornillada entre sección 8a y parte 1 del panel

Nota: el modelado de los tornillos, tuercas, arandelas y remaches es una ampliación llevada a cabo como parte del TFM.

#### 6.6.5.4.1 Ensamblaje panel de instrumentos: Máquinas y herramientas utilizadas

Véase apartados **6.3.4 Máquinas** y **6.3.5.5 Herramientas seleccionadas**.

- Remachadora tipo pistola.
  - Buterola adecuada para el remache de diámetro 3.18mm.
  - Sufridera o entibe adecuado para cada posición de remachado.

### 6.6.6 Pedales

Los pedales son una parte crucial en el manejo del avión, ya que dotan al piloto de control en guiñada. Al pisar el pedal derecho, el timón de dirección gira a la derecha y consecuentemente la aeronave realiza un movimiento de guiñada a la derecha (si se pisa el pedal izquierdo el movimiento es justamente el opuesto).

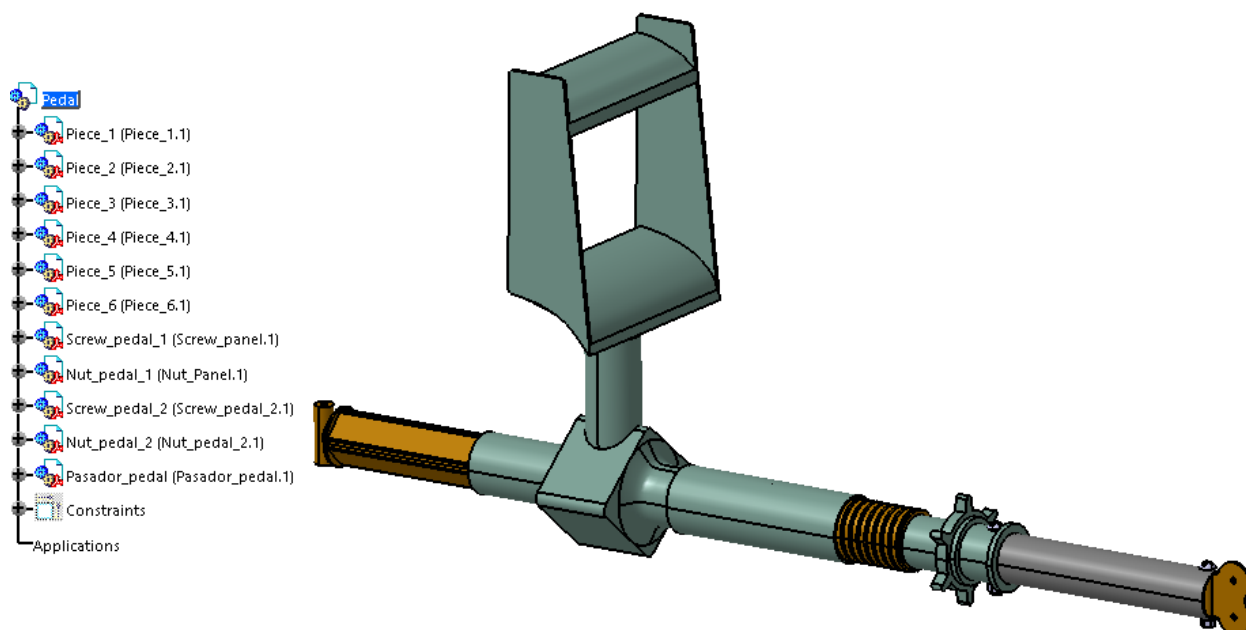


Figura 6-343. Pedal modelado en CATIA

Está compuesto por cinco piezas, cuya fabricación describiremos a continuación. Todas ellas de aluminio, excepto la pieza 4 (acero).

### 6.6.6.1 Pedales: Pieza 1

La pieza 1 no es más que un tubo de diámetro exterior 33mm, diámetro interior 31mm (1mm de espesor) y longitud 183mm, con dos taladros en ambos extremos del tubo de diámetros 8 y 3.5mm.

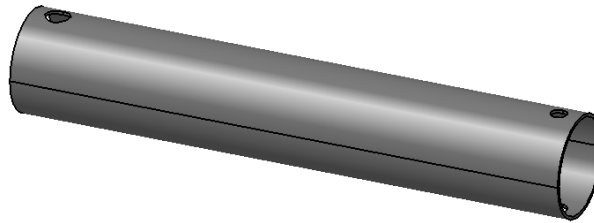


Figura 6-344. Pieza 1 del pedal modelada en CATIA

Este tipo de piezas se encarga directamente a un proveedor, aunque a continuación enumeramos las operaciones que habría que realizar para obtenerla.

1. **Laminación:** Obtenemos una barra que servirá de preforma para la obtención del tubo.
2. **Extrusión:** Se hace pasar la barra anteriormente obtenida por una matriz o hilera de perfil hueco con la forma del tubo en cuestión (para mejor acabado superficial podríamos repasar el tubo en torno).
3. **Taladrado (*Drilling 1-Drilling.8*):**
  - a. **Estrategia de mecanizado:** Utilizamos las secuencias de taladrado 2.5-3.5-5.5mm y 2.5-3.5-5.5-8mm. Como las herramientas de corte no tienen la longitud de corte suficiente para perforar todo el tubo, hacemos los dos agujeros de una cara, giramos la pieza y hacemos los otros dos. No realizamos operaciones de escariado, puesto que en esta pieza no tiene demasiada importancia el acabado superficial. Transición entre agujeros a 10mm de la pieza.
  - b. **Geometría a mecanizar:** Los agujeros de diámetro 5.5 y 8mm.
  - c. **Herramientas:** Tomamos como referencia las brocas A2 2297 D2.5, A2 2297 D3.5, A2 2060 D5.5 y A2 2060 D8 de UNCETA (Figuras 6-42 a 6-50, apartado **6.3.3.5 Herramientas seleccionadas**).
  - d. **Parámetros de corte:** Los definidos para mecanizado de aleaciones de aluminio con la herramienta de corte elegida (Tabla 6-1, apartado **6.3.3.5 Herramientas seleccionadas**).
  - e. **Macros:** Macros de aproximación y retirada del usuario (**6.4.1.7. Macros en operaciones de mecanizado**).

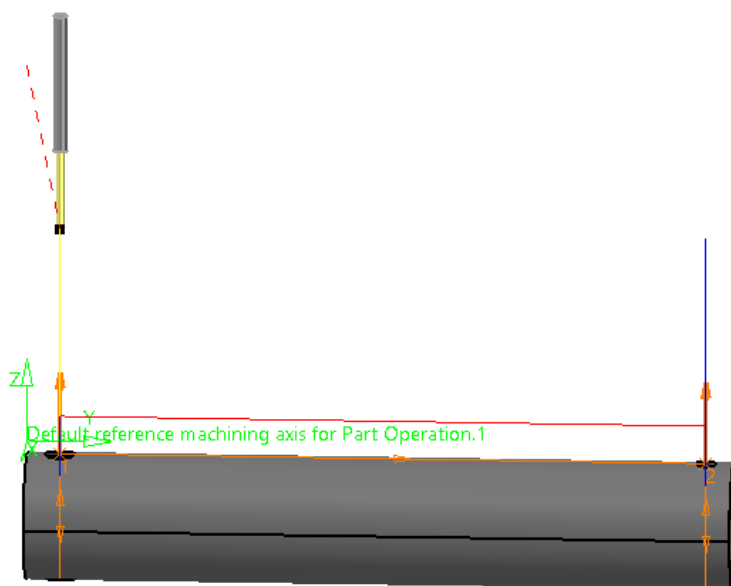


Figura 6-345. Pieza 1 del pedal: Trayectoria de taladrado en ambas caras



Figura 6-346. Pieza 1 del pedal: Resultado de taladrado

#### 6.6.6.2 Pedales: Pieza 2

La pieza 2 está formada por tres partes soldadas entre sí.

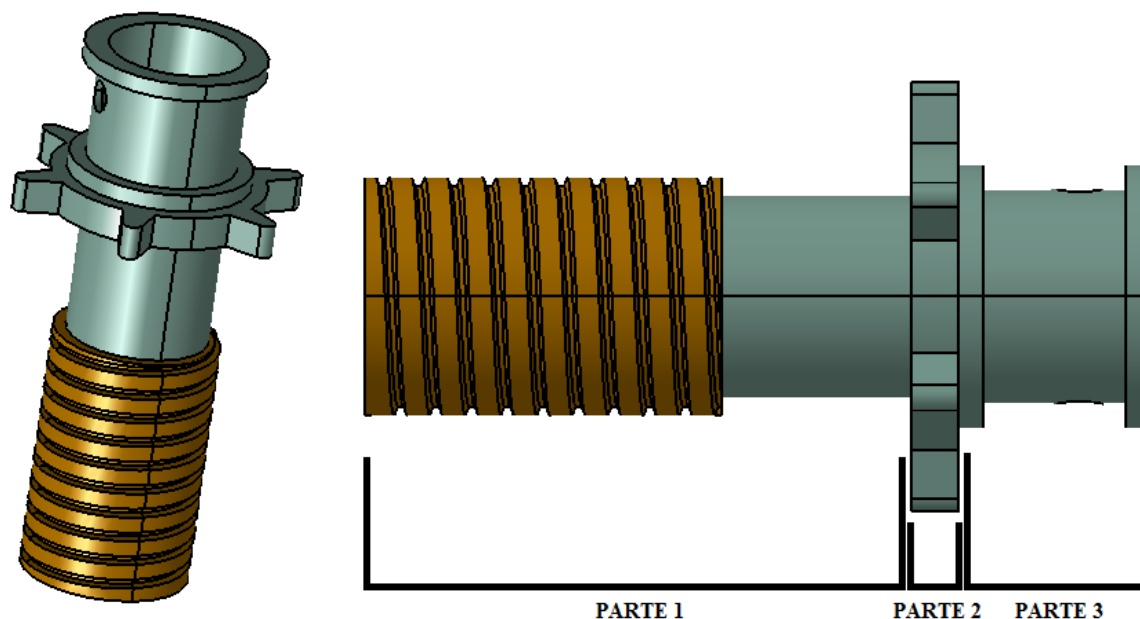


Figura 6-347. Pieza 2 del pedal modelada en CATIA

La parte 1 es una barra maciza de longitud 95.45mm y diámetro máximo 41.5mm. Aunque pueda parecer a su vez formada por dos componentes, la única diferencia entre ambos es que la parte roscada se pinta de diferente



color.

1. **Laminación:** Por laminación obtenemos una barra de dimensiones mayores a las finales.
2. **Torneado:** La barra obtenida anteriormente se mecaniza por torneado.
  - a. **Refrentado** de la superficie delantera.
  - b. **Cilindrado** de diámetro 41.5mm y profundidad 62.25mm.
  - c. **Cilindrado** de diámetro 35.28mm y profundidad 33.2mm.
  - d. **Roscado** del cilindro de diámetro 41.5mm.
  - e. **Tronzado** para cortar la barra de acuerdo a su longitud final.

La parte 2 tiene una forma particular, siendo su espesor de 8.3mm.

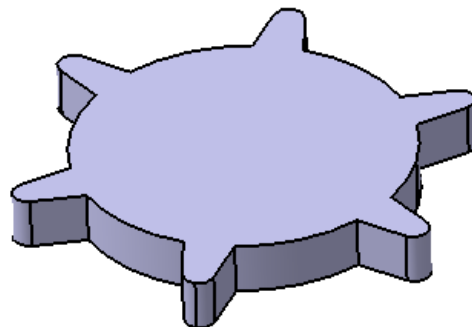


Figura 6-348. Pieza 2 del pedal-parte 2 modelada en CATIA

La preforma utilizada tiene base cuadrada de 84.7mm y altura 10.3mm.

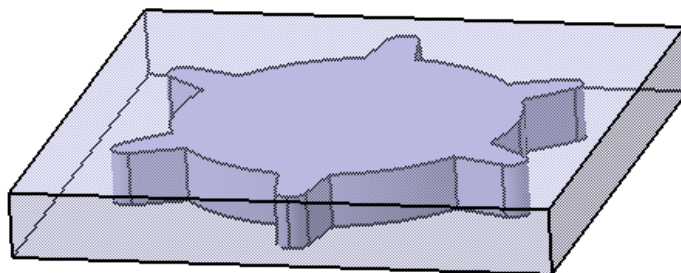


Figura 6-349. Pieza 2 del pedal-parte 2: Preforma

La obtenemos siguiendo la siguiente secuencia de mecanizado:

1. **Planeado en ambas caras (*Facing.1, Facing.2*):**
  - a. **Estrategia de mecanizado:** Una pasada de desbaste y una de acabado en una sola dirección.
  - b. **Geometría a mecanizar:** Cara superior (1mm) e inferior (0.7mm) de la preforma.
  - c. **Herramienta:** Fresa de planeado ASX400-100B10R de Mitsubishi Materials (Figura 6-28, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
  - d. **Parámetros de corte:** Los definidos para mecanizado de aleaciones de aluminio con la herramienta de corte elegida (Figura 6-29, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
  - e. **Macros:** Macros de aproximación, retirada y aclarado del usuario (6.4.1.7. *Macros en operaciones de mecanizado*).

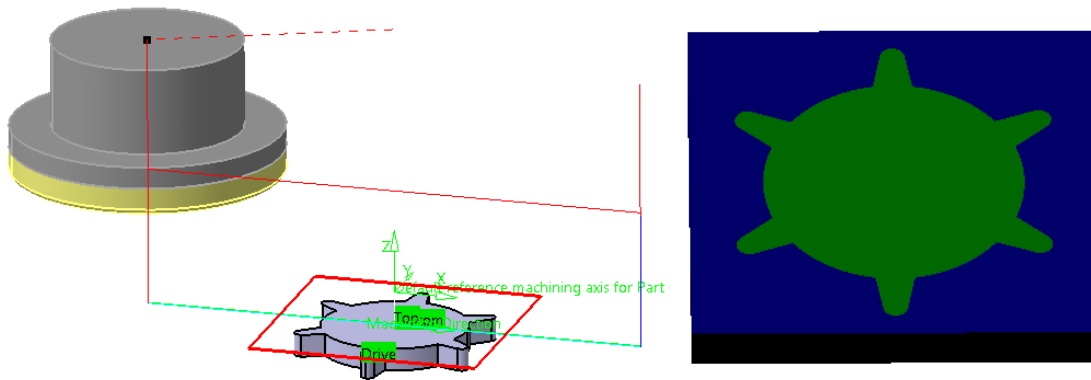


Figura 6-350. Pieza 2 del pedal-parte 2: Trayectoria y resultado de planeado

## 2. Contorneado (*Profile Contouring.1-Profile Contouring.2*):

- a. **Estrategia de mecanizado:** Zig-zag con cinco pasadas de desbaste y cinco de acabado (mecanizado en cinco niveles axiales con pasada de acabado en todos). Sin embargo, estas pasadas se realizan en operaciones de contorneado independientes, tres niveles en la primera, se gira la pieza y los dos niveles restantes en la segunda. Procedemos así, puesto que la pieza tiene un espesor de 8.3mm y la longitud de corte de nuestra herramienta es de 6mm, por lo que si lo hiciésemos en una sola operación se produciría colisión entre el cuerpo de la herramienta y la pieza.
- b. **Geometría a mecanizar:** Contorno exterior.
- c. **Herramienta:** Fresa periférico-frontal AM2MBR0100A060 de Mitsubishi Materials (Figura 6-38, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- d. **Parámetros de corte:** Los definidos para mecanizado de aleaciones de aluminio con la herramienta de corte elegida (Figura 6-39, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- e. **Macros:** Macros de aproximación y retirada del usuario (6.4.1.7. *Macros en operaciones de mecanizado*).

A continuación se muestra la trayectoria de mecanizado y el resultado de la operación.

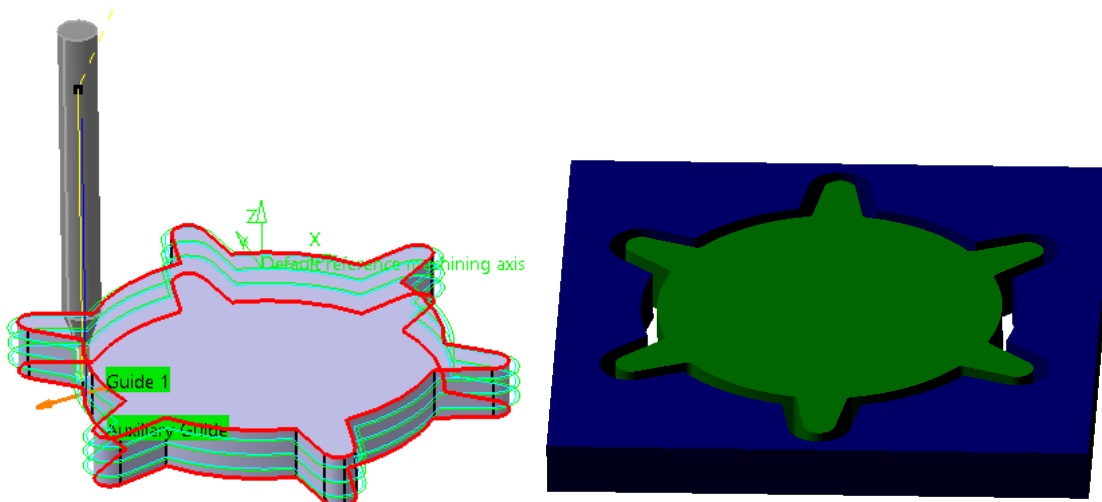


Figura 6-351. Pieza 2 del pedal-parte 2: Trayectoria y resultado de contorneado

La parte 3 es un tubo de longitud 33.2mm, diámetro interior 33.65mm y diámetro exterior máximo 45.65mm.

1. **Laminación:** Con este proceso obtenemos una barra de dimensiones mayores a las máximas.
2. **Torneado:**
  - a. **Refrentado** de la superficie delantera.
  - b. **Cilindrado** de diámetro 45.65mm y profundidad 4.15mm.

- c. **Cilindrado** de diámetro 37.35mm y profundidad 24.9mm.
  - d. **Cilindrado** de diámetro 45.65mm y profundidad 4.15mm.
  - e. **Taladrado** de diámetro 30mm y profundidad 33.2mm.
  - f. **Escariado** del agujero anterior para dejarlo con diámetro 33.65mm.
  - g. **Tronzado** para cortar la longitud exacta del tubo.
3. **Taladrado:** Procedemos de forma análoga a como hicimos en la pieza 1 del pedal. En este caso el agujero es de diámetro 8mm, por lo que la secuencia de taladrado podría ser la misma, es decir, 2.5-3.5-5.5-8mm. Utilizamos las mismas brocas (Figuras 6-42 a 6-50 y Tabla 6-1), por lo que nuevamente estamos limitados por la longitud de corte, realizando dos operaciones de taladrado (taladrado, giro y taladrado).

Una vez obtenidas las tres partes que componen la pieza 2 del pedal procedemos a **soldar** todos los componentes.

#### 6.6.6.3 Pedales: Pieza 3

Al igual que la pieza 2, la pieza 3 está formada por varias partes soldadas entre sí, en este caso cuatro.

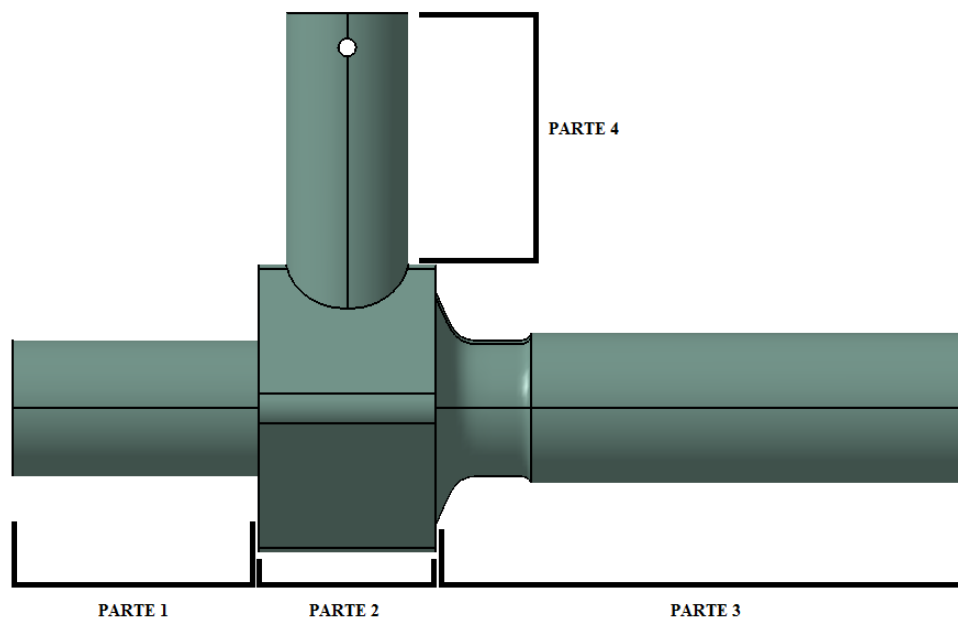


Figura 6-352. Pieza 3 del pedal modelada en CATIA

La parte 1 es un tubo de longitud 75mm, diámetro exterior 41.5mm e interior 37.5mm. Para obtenerla hacemos las siguientes operaciones:

1. **Laminación:** Por laminación obtenemos una barra de dimensiones mayores a las finales.
2. **Torneado:**
  - a. **Refrentado** de la superficie delantera.
  - b. **Cilindrado** de diámetro 41.5mm y profundidad 75mm.
  - c. **Taladrado** de diámetro 35mm y profundidad 75mm.
  - d. **Escariado** de diámetro 37.5mm y profundidad 75mm.
  - e. **Tronzado** para cortar la barra de acuerdo a su longitud final.

La parte 2 tiene forma de rombo, con espesor 54mm.

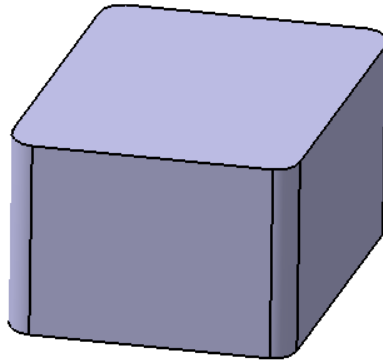


Figura 6-353. Pieza 3 del pedal-parte 2 modelada en CATIA

La preforma utilizada tiene base rectangular de 115x98mm y altura 56mm.

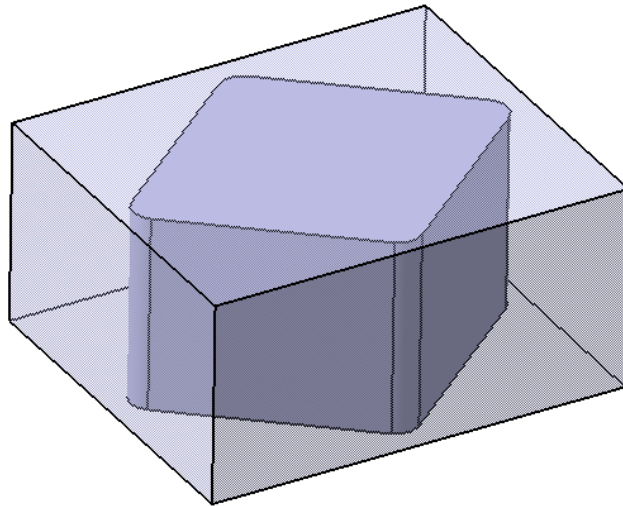


Figura 6-354. Pieza 3 del pedal-parte 2: Preforma

Operaciones de mecanizado:

**1. Planeado en ambas caras (*Facing.1, Facing.2*):**

- a. **Estrategia de mecanizado:** Ida y vuelta con una pasada de desbaste y una de acabado.
- b. **Geometría a mecanizar:** Cara superior e inferior de la preforma, eliminando 1mm de material en cada una.
- c. **Herramienta:** Fresa de planeado ASX400-100B10R de Mitsubishi Materials (Figura 6-28, apartado **6.3.3.5 Herramientas seleccionadas**).
- d. **Parámetros de corte:** Los definidos para mecanizado de aleaciones de aluminio con la herramienta de corte elegida (Figura 6-29, apartado **6.3.3.5 Herramientas seleccionadas**).
- e. **Macros:** Macros del usuario (**6.4.1.7. Macros en operaciones de mecanizado**).

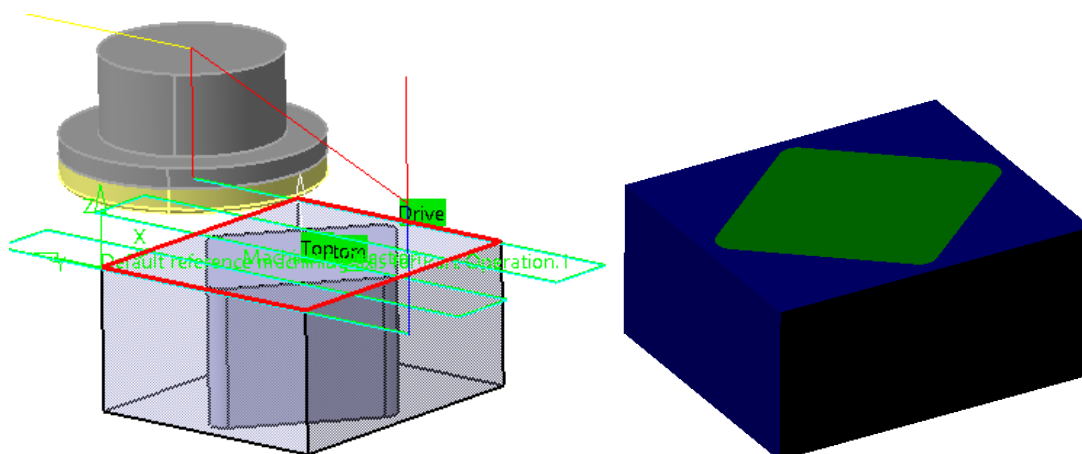


Figura 6-355. Pieza 3 del pedal-parte 2: Trayectoria y resultado de planeado

## 2. Contorneado (*Profile Contouring.1*):

- Estrategia de mecanizado:** Zig-zag con tres pasadas de desbaste y tres de acabado (mecanizado en tres niveles axiales, debido a que el espesor de la pieza es mayor que la longitud de corte de la herramienta).
- Geometría a mecanizar:** Contorno exterior.
- Herramienta:** Fresa periférico-frontal VQJHVD1200 de Mitsubishi Materials (Figura 6-32, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- Parámetros de corte:** Los definidos para mecanizado de aleaciones de aluminio con la herramienta de corte elegida (Figura 6-33, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- Macros:** Macros de aproximación y retirada del usuario (6.4.1.7. *Macros en operaciones de mecanizado*).

A continuación se muestra la trayectoria de mecanizado y el resultado de la operación.

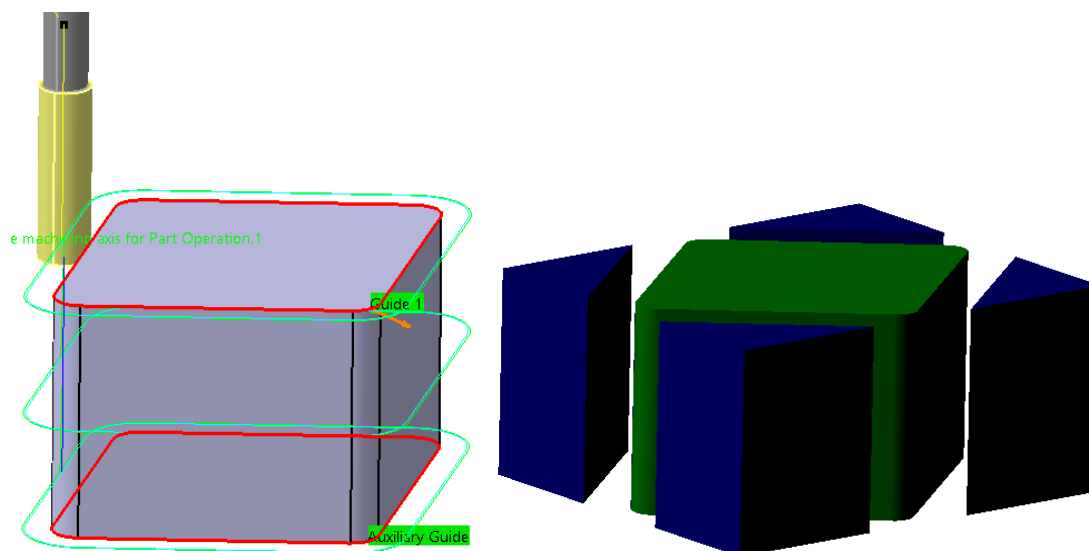


Figura 6-356. Pieza 3 del pedal-parte 2: Trayectoria y resultado de contorneado

La parte 3 es una barra de longitud 161.8mm y diámetro máximo 70.5mm. Posee una parte hueca de diámetro 42.5mm y profundidad 63mm.

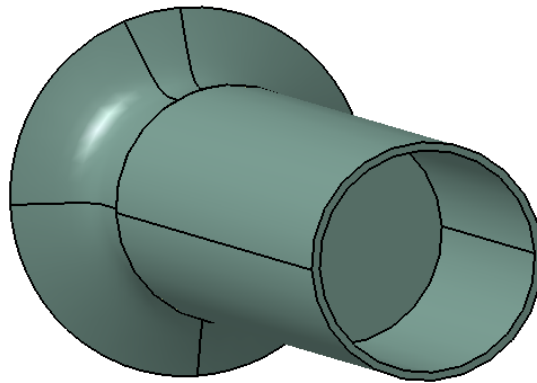


Figura 6-357. Pieza 3 del pedal-parte 3 modelada en CATIA

1. **Laminación:** Con este proceso obtenemos una barra de dimensiones mayores a las máximas.
2. **Torneado:**
  - a. **Refrentado** de la superficie delantera.
  - b. **Cilindrado** de diámetro 70.5mm y profundidad 29mm.
  - c. **Contorneado** del cambio de sección del cilindro obtenido en el paso b.
  - d. **Cilindrado** de diámetro 45.65mm y profundidad 132.8mm.
  - e. **Taladrado** de diámetro 40mm y profundidad 63mm.
  - f. **Escariado** del agujero anterior para dejarlo con diámetro 42.5mm.
  - g. **Tronzado** para cortar la longitud exacta del tubo.

La parte 4 es una barra de diámetro 37.35mm y longitud máxima 90.1mm. Su parte inferior debe tener una forma específica para su posterior soldadura con la parte 2.

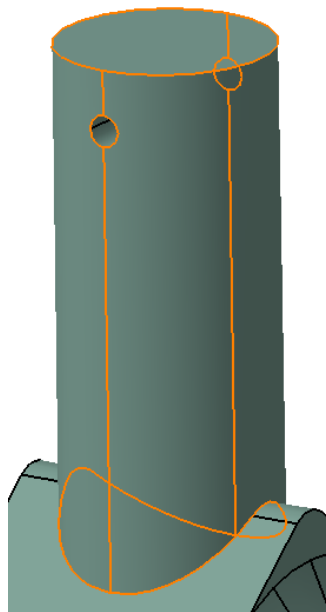


Figura 6-358. Pieza 3 del pedal-parte 4 modelada en CATIA

1. **Laminación:** Con este proceso obtenemos una barra de dimensiones mayores a las máximas.
2. **Torneado:**
  - a. **Refrentado** de la superficie delantera.
  - b. **Cilindrado** de diámetro 37.35mm y profundidad 90.1mm.

- c. **Tronzado** para cortar una longitud de 100mm.

### 3. Vaciado (*Pocketing.1*):

- a. **Estrategia de mecanizado:** Trayectoria helicoidal con una pasada de desbaste y una de acabado.
- b. **Geometría a mecanizar:** Extremo inferior de la barra.
- c. **Herramienta:** Fresa periférico-frontal VQJHVD1200 de Mitsubishi Materials (Figura 6-32, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- d. **Parámetros de corte:** Los definidos para mecanizado de aleaciones de aluminio con la herramienta de corte elegida (Figura 6-33, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- e. **Macros:** Macros de aproximación y retirada del usuario (6.4.1.7. *Macros en operaciones de mecanizado*).

La trayectoria de mecanizado y el resultado obtenido son:

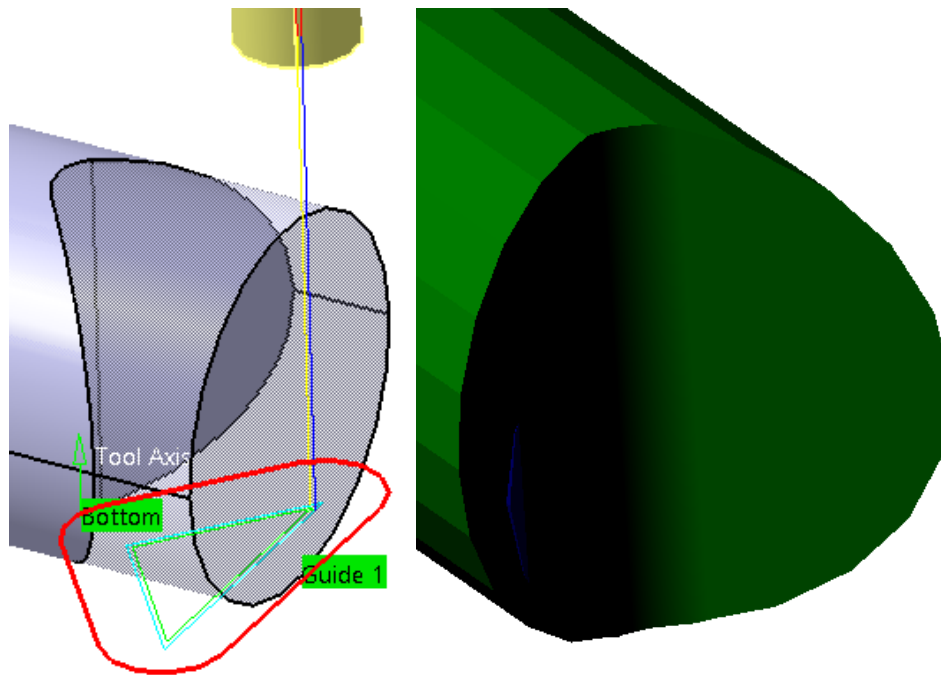


Figura 6-359. Pieza 3 del pedal-parte 4: Trayectoria y resultado de vaciado

### 4. Taladrado (*Drilling.1*):

- a. **Estrategia de mecanizado:** En este caso no seguimos una secuencia de taladrado, directamente hacemos el agujero de 5.5mm, cambiando consecuentemente las condiciones de corte.
- b. **Geometría a mecanizar:** Agujero de 5.5mm.
- c. **Herramienta:** Broca A1 1190 D5.5 de UNCETA (Figuras 6-42 a 6-50, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- d. **Parámetros de corte:** Los definidos para mecanizado de aleaciones de aluminio con la herramienta de corte elegida. Podemos observar que las velocidades de corte y avance son significativamente menores a las escogidas cuando usamos secuencia de taladrado (Tabla 6-1, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- e. **Macros:** Macros de aproximación y retirada del usuario (6.4.1.7. *Macros en operaciones de mecanizado*).

El resultado de la operación se muestra en la siguiente figura.

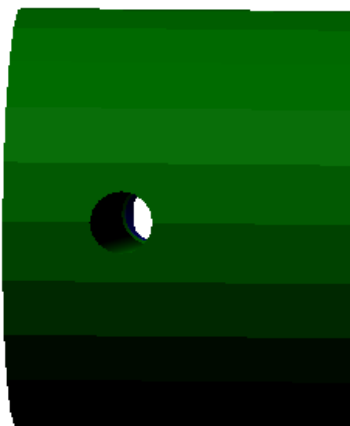


Figura 6-360. Pieza 3 del pedal-parte 4: Resultado de taladrado

Una vez obtenidas las cuatro partes que componen la pieza 3 del pedal, procedemos con la **soldadura** de componentes.

#### 6.6.6.4 Pedales: Pieza 4

La pieza 4 tiene una finalidad bastante simple, servir como tope en el movimiento de los pedales. Es de acero.

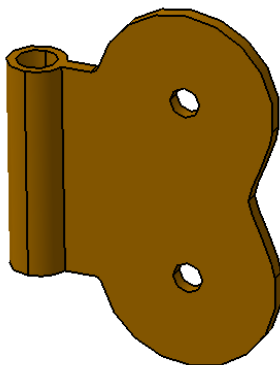


Figura 6-361. Pieza 4 del pedal modelada en CATIA

Podemos sustituirla por cualquier componente comercial que cumpla con su función, por lo que podemos ahorrarnos la fabricación o restauración de esta pieza en particular. Las medidas orientativas de este componente se muestran a continuación.



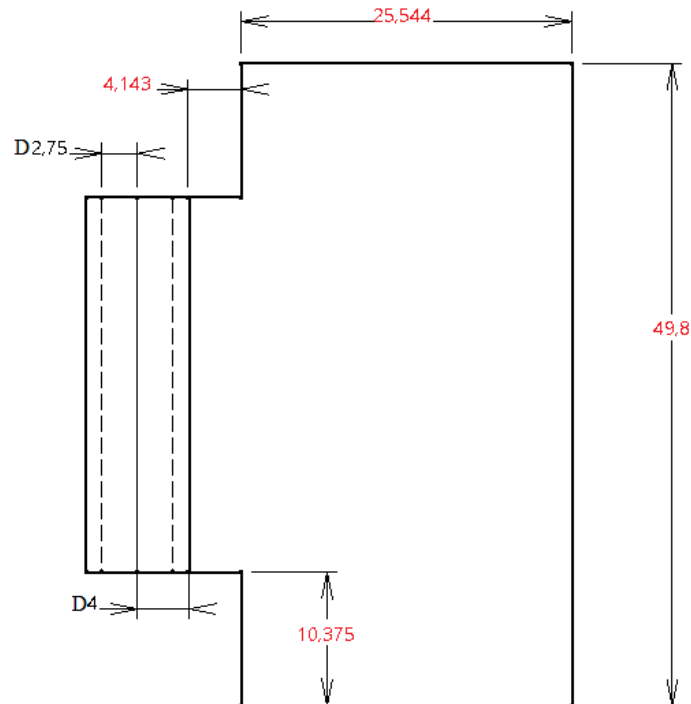


Figura 6-362. Pieza 4 del pedal modelada: Medidas orientativas

Nota: En rojo medidas que pueden aumentar ligeramente su valor. Se deben mantener diámetros interior y exterior del tubo y su altura (~29mm).

#### 6.6.6.5 Pedales: Pieza 5 (rediseñado)

Al igual que la pieza 4, la pieza 5 puede ser sustituida por algún componente comercial. No es necesario fabricarla o restaurarla de acuerdo al modelo de CATIA.

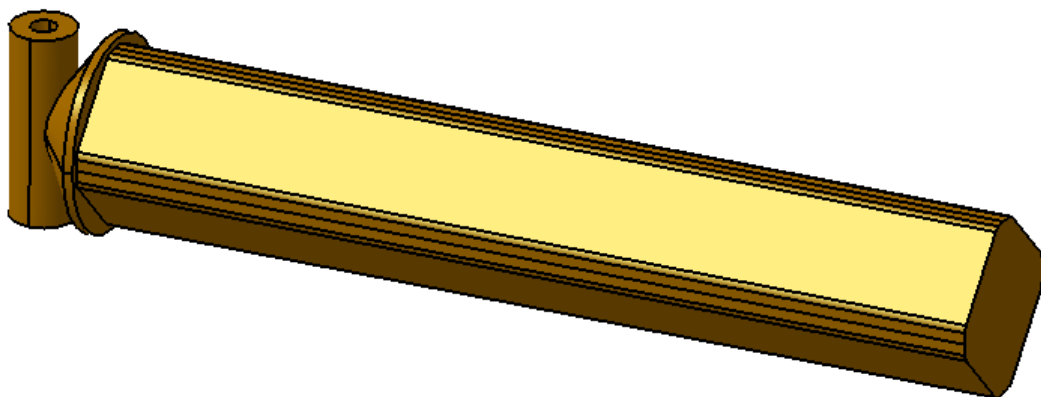


Figura 6-363. Pieza 5 del pedal modelada en CATIA

Ofrecemos una alternativa al diseño original cuya fabricación es más simple (compuesta por dos partes soldadas entre sí como la original).

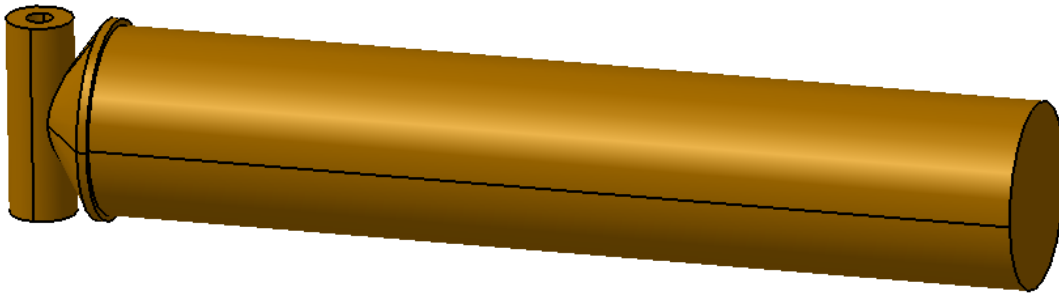


Figura 6-364. Pieza 5 del pedal: Diseño alternativo

La parte 1 es un tubo de longitud 40mm, diámetro exterior 13.4mm e interior 5.5mm. Para fabricarlo seguimos los siguientes pasos:

1. **Laminación:** Con este proceso obtenemos una barra de dimensiones mayores a las máximas.
2. **Torneado:**
  - a. **Refrentado** de la superficie delantera.
  - b. **Cilindrado** de diámetro 13.4mm y profundidad 40mm.
  - c. **Taladrado** de diámetro 4mm y profundidad 40mm.
  - d. **Escariado** del agujero anterior para dejarlo con diámetro 5.5mm.
  - e. **Tronzado** para cortar la longitud exacta del tubo.

La parte 2 es una barra de diámetro máximo 39.9mm y longitud 199.5mm. La secuencia de operaciones es:

1. **Laminación:** Con este proceso obtenemos una barra de dimensiones mayores a las máximas.
2. **Torneado:**
  - a. **Refrentado** de la superficie delantera.
  - b. **Cilindrado** de diámetro 37.4mm y profundidad 187.5mm.
  - c. **Cilindrado** de diámetro 39.9mm y profundidad 12mm.
  - d. **Contorneado** del cambio de sección del cilindro obtenido en el paso c (10mm de profundidad).
  - e. **Tronzado** para cortar la longitud exacta del tubo.
3. **Vaciado** similar al efectuado en la parte 4 de la pieza 3 del pedal.

#### 6.6.6.6 Pedales: Pieza 6

La pieza 6 es el pedal como tal y, por tanto, parte fundamental del mecanismo descrito.

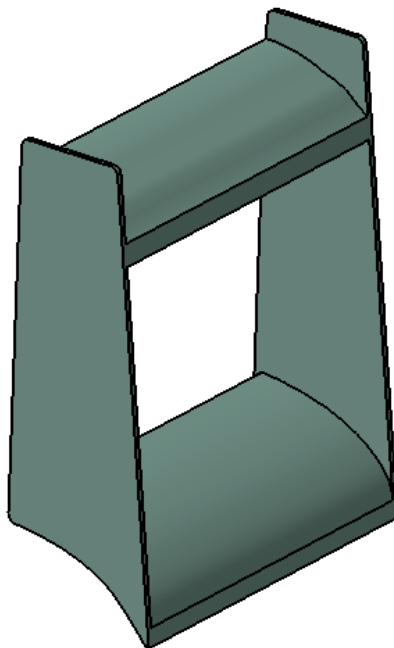


Figura 6-365. Pieza 6 del pedal modelada en CATIA

La preforma tiene base rectangular de 170 x 215mm y altura 66mm.

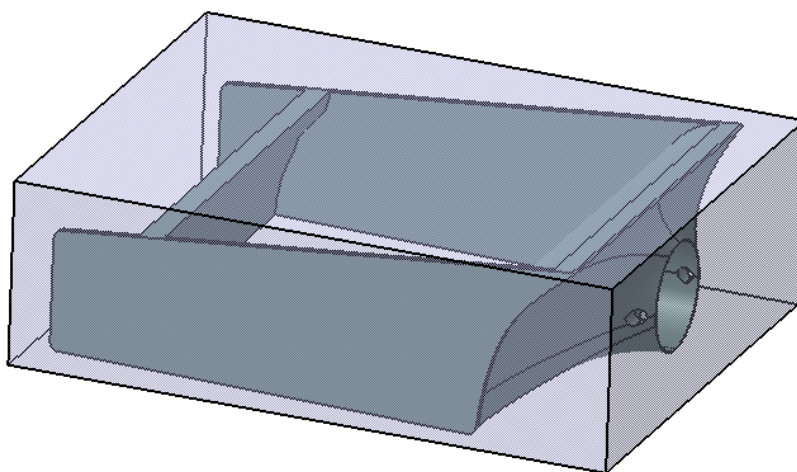


Figura 6-366. Pieza 6 del pedal: Preforma

A continuación describimos la secuencia de mecanizado seguida:

##### 1. Planeado en ambas caras (*Facing.1, Facing.2*):

- Estrategia de mecanizado:** Ida y vuelta con tres pasadas de desbaste y una de acabado (tres niveles axiales con pasada de acabado en el último) en la cara superior y una de desbaste y una de acabado en la inferior.
- Geometría a mecanizar:** Caras superior e inferior de la preforma.
- Herramienta:** Cabezal portacuchillas ASX400-100B10R de Mitsubishi Materials (Figura 6-28, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- Parámetros de corte:** Los definidos para mecanizado de aleaciones de aluminio con la herramienta de corte elegida (Figura 6-29, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).

- e. **Macros:** Macros de aproximación, retirada y aclarado del usuario (6.4.1.7. *Macros en operaciones de mecanizado*).

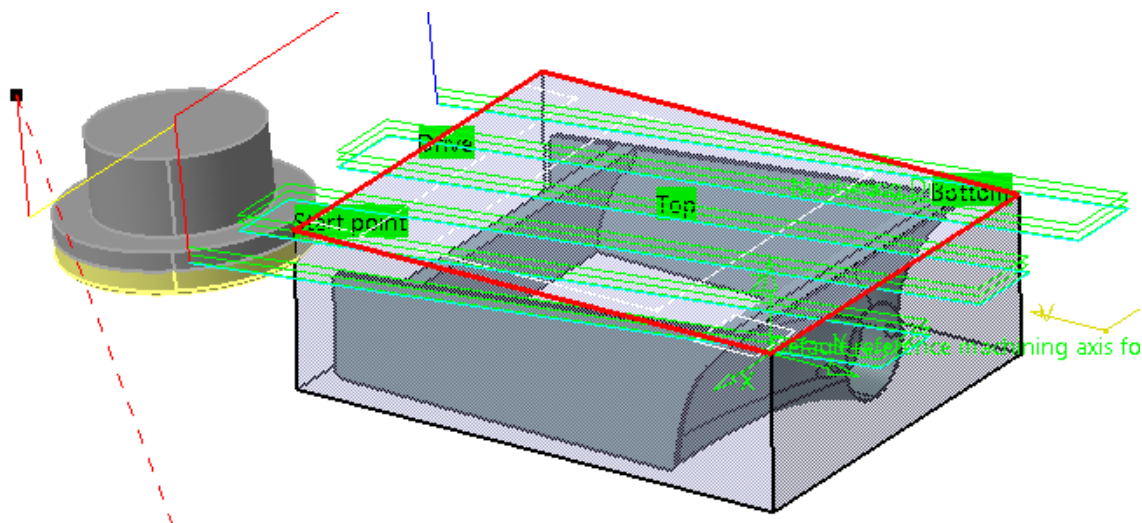


Figura 6-367. Pieza 6 del pedal: Trayectoria de planeado 1

## 2. Contorneado (*Profile Contouring.1*):

- a. **Estrategia de mecanizado:** Zig-zag con seis pasadas de desbaste y tres de acabado (mecanizado en dos niveles radiales y tres axiales, con pasada de acabado en los tres niveles axiales).
- b. **Geometría a mecanizar:** Contorno exterior de la pieza 6. Para ello insertamos un nuevo cuerpo (*Insert/Body*) que nos facilita la selección del contorno exterior.

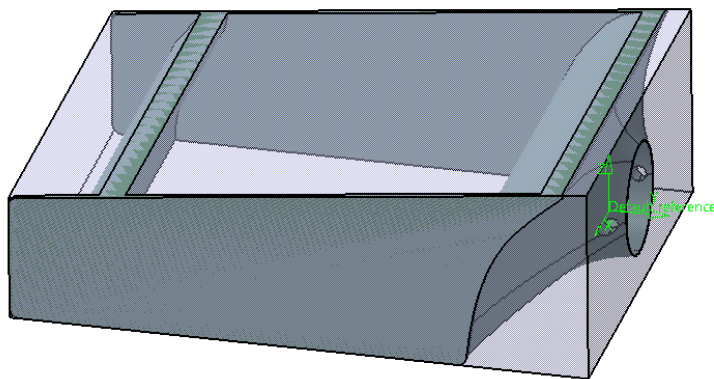


Figura 6-368. Pieza 6 del pedal: Cuerpo de apoyo para contorneado

- c. **Herramienta:** Fresa periférico-frontal VQJHVD1200 de Mitsubishi Materials (Figura 6-32, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- d. **Parámetros de corte:** Los definidos para mecanizado de aleaciones de aluminio con la herramienta de corte elegida (Figura 6-33, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- e. **Macros:** Macros de aproximación y retirada del usuario (6.4.1.7. *Macros en operaciones de mecanizado*).

En las siguientes figuras podemos ver la trayectoria de mecanizado y el resultado.

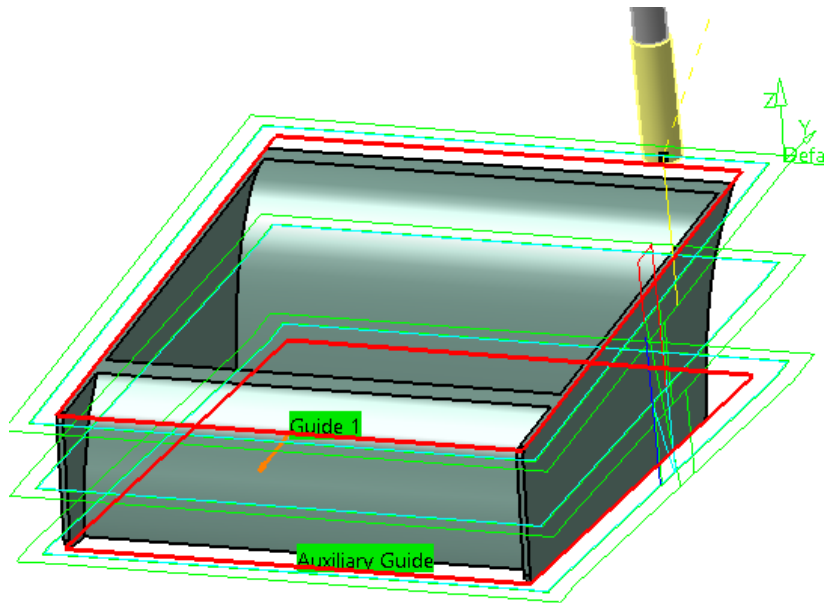


Figura 6-369. Pieza 6 del pedal: Trayectoria de contorneado

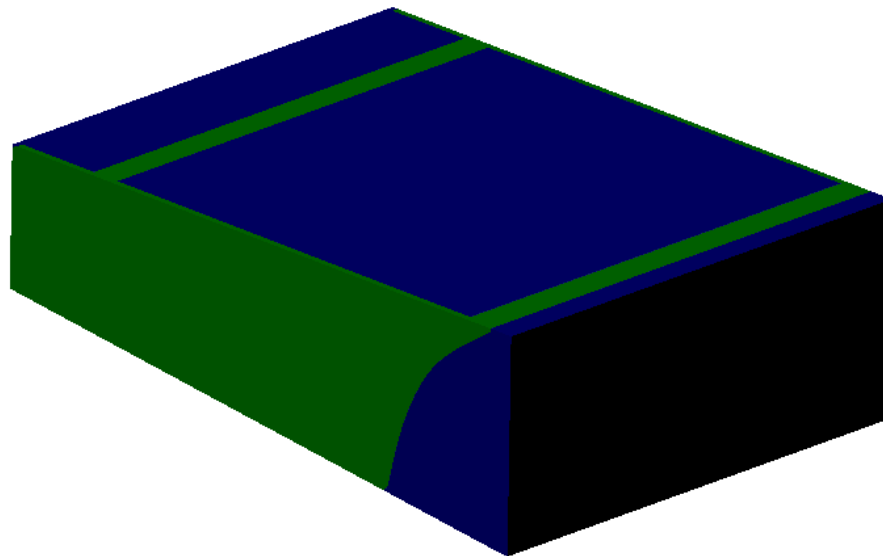


Figura 6-370. Pieza 6 del pedal: Resultado de contorneado

### 3. Vaciado (*Pocketing. I*):

- a. **Estrategia de mecanizado:** Helicoidal hacia fuera con dos pasadas de desbaste y una de acabado (mecanizado en dos niveles radiales).
- b. **Geometría a mecanizar:** Agujero de diámetro 37.85mm en la parte inferior del pedal.
- c. **Herramienta:** Fresa periférico-frontal VQJHVD1200 de Mitsubishi Materials (Figura 6-32, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- d. **Parámetros de corte:** Los definidos para mecanizado de aleaciones de aluminio con la herramienta de corte elegida (Figura 6-33, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- e. **Macros:** Macros de aproximación, retirada y aclarado por defecto (6.4.1.7. *Macros en operaciones de mecanizado*).

La trayectoria de mecanizado y el resultado obtenido se muestran en la siguiente figura.

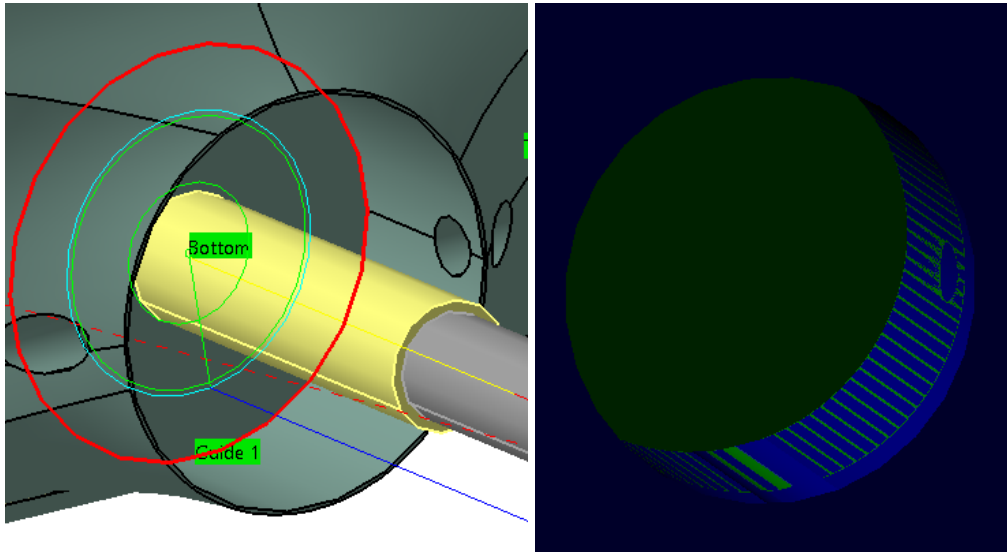


Figura 6-371. Pieza 6 del pedal: Trayectoria y resultado de vaciado

Como podemos observar el acabado de la superficie lateral no es muy bueno, quedando material por eliminar, pese a la pasada de acabado efectuada. Esto se debe fundamentalmente a la herramienta de corte seleccionada para la operación.

#### 4. Desbaste (*Roughing.1, Roughing.2*):

- a. **Estrategia de mecanizado:** Mecanizado por área, teniendo en cuenta la parte exterior y los huecos. La trayectoria seguida es en zig-zag con tres niveles axiales.
- b. **Geometría a mecanizar:** Parte 6 del pedal en dos operaciones distintas (una por cada lado).
- c. **Herramienta:** Fresa periférico-frontal usada en las operaciones anteriores (Figura 6-32, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- d. **Parámetros de corte:** Los definidos para mecanizado de aleaciones de aluminio con la herramienta de corte elegida (Figura 6-33, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- e. **Macros:** Definidas por defecto en CATIA.

La trayectoria seguida y el resultado de la operación son:

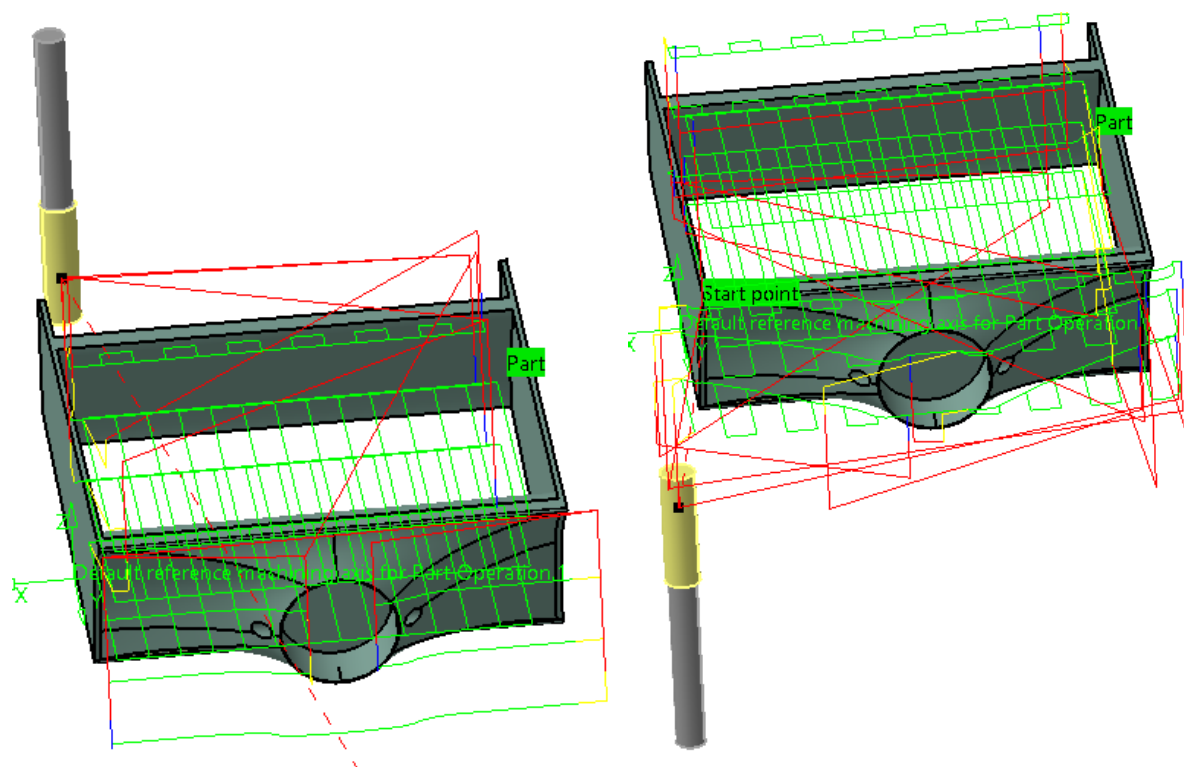


Figura 6-372. Pieza 6 del pedal: Trayectoria de desbaste

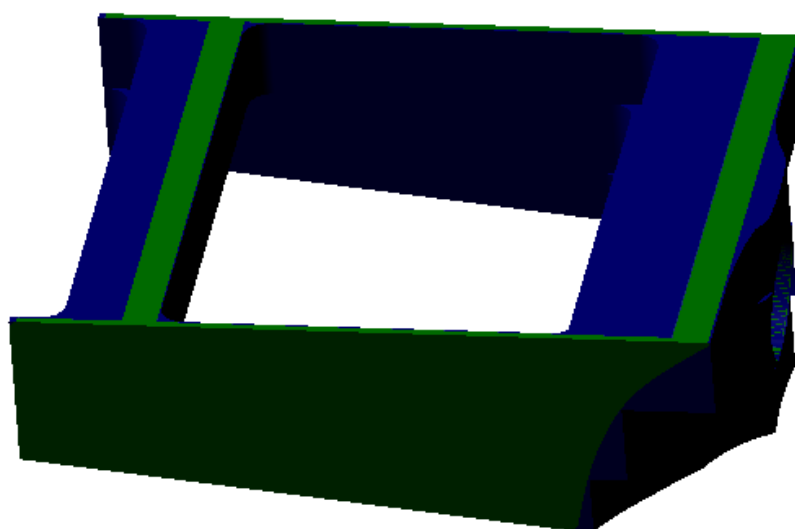


Figura 6-373. Pieza 6 del pedal: Resultado de desbaste

##### 5. Barrido (*Sweeping.1, Sweeping.2*):

- a. **Estrategia de mecanizado:** Zig-zag.
- b. **Geometría a mecanizar:** Parte 6 del pedal en dos operaciones distintas (una por cada lado).
- c. **Herramienta:** Fresa periférico-frontal, tomando como referencia la fresa AM2MBR0200A060 de Mitsubishi Materials (Figura 6-36, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- d. **Parámetros de corte:** Los definidos para mecanizado de aleaciones de aluminio con la herramienta de corte elegida (Figura 6-37, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- e. **Macros:** Definidas por defecto en CATIA.



La trayectoria seguida y el resultado de la operación son:

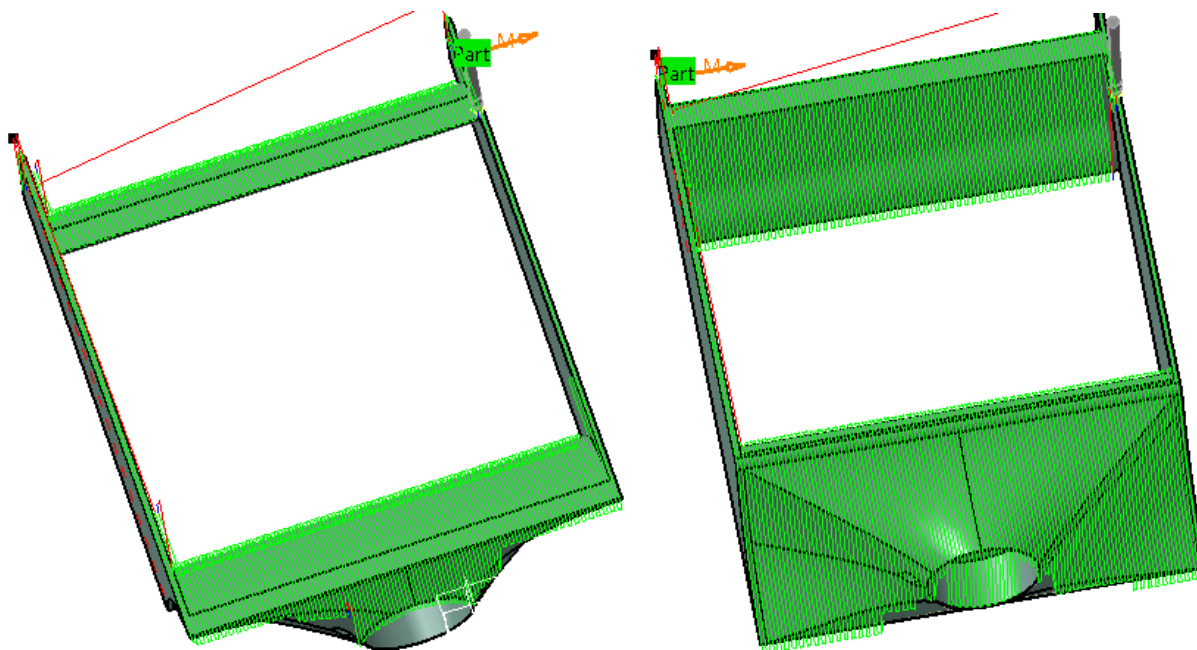


Figura 6-374. Pieza 6 del pedal: Trayectoria de barrido

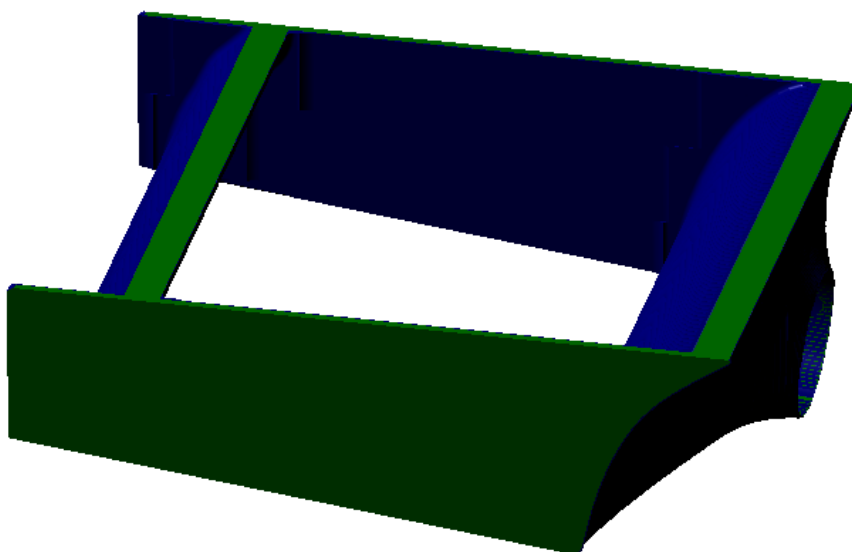


Figura 6-375. Pieza 6 del pedal: Resultado de barrido

**6. Fresado espiral lateral (*Spiral milling.1*, *Spiral milling.2*):**

- a. **Estrategia de mecanizado:** Helicoidal siguiendo el contorno seleccionado manualmente (distancia entre pasadas radiales 0.75mm).



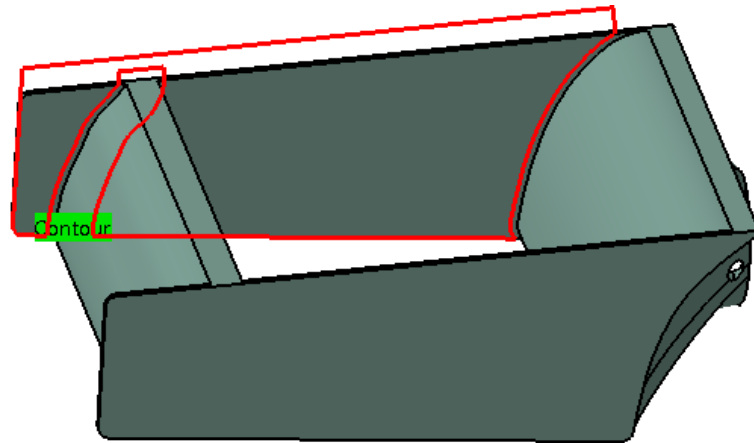


Figura 6-376. Pieza 6 del pedal: Contorno en fresado espiral lateral

- b. **Geometría a mecanizar:** Parte lateral interior de la pieza 6. Para ello introducimos dos nuevos cuerpos que nos facilitan la correcta ejecución de la operación.

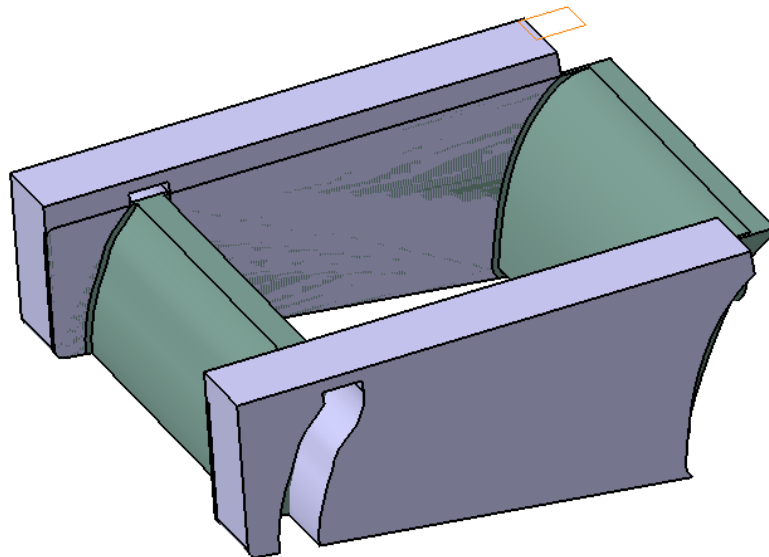


Figura 6-377. Pieza 6 del pedal: Cuerpos de apoyo en fresado espiral lateral

- c. **Herramienta:** Fresa periférico-frontal AM2MBR0200A060 de Mitsubishi Materials (Figura 6-36, apartado **6.3.3.5 Herramientas seleccionadas**).
- d. **Parámetros de corte:** Los definidos para mecanizado de aleaciones de aluminio con la herramienta de corte elegida (Figura 6-37, apartado **6.3.3.5 Herramientas seleccionadas**).
- e. **Macros:** Definidas por defecto en CATIA a excepción del aclarado. Se define a plano de seguridad tal y como se muestra en la figura.

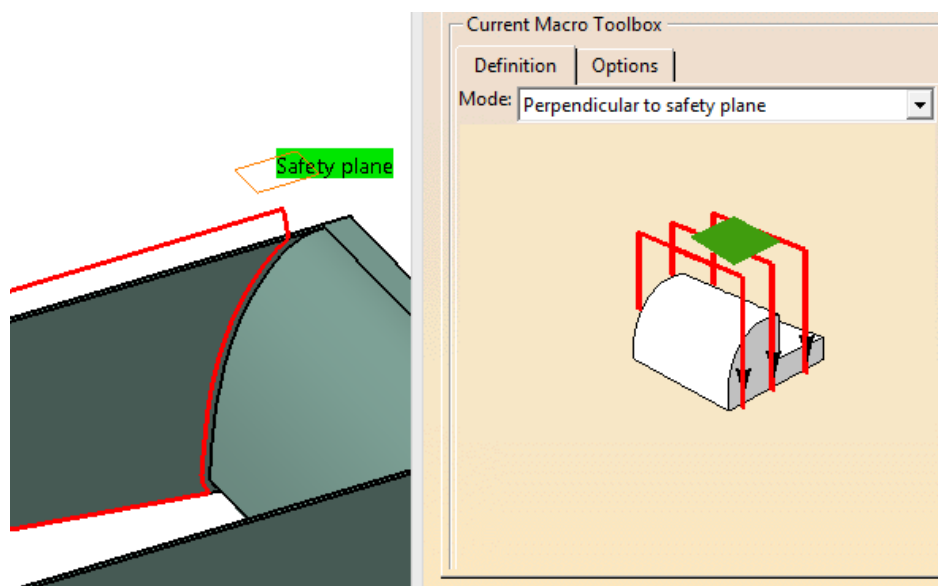


Figura 6-378. Pieza 6 del pedal: Macro de aclarado en fresado espiral lateral  
La trayectoria seguida y el resultado de la operación son:

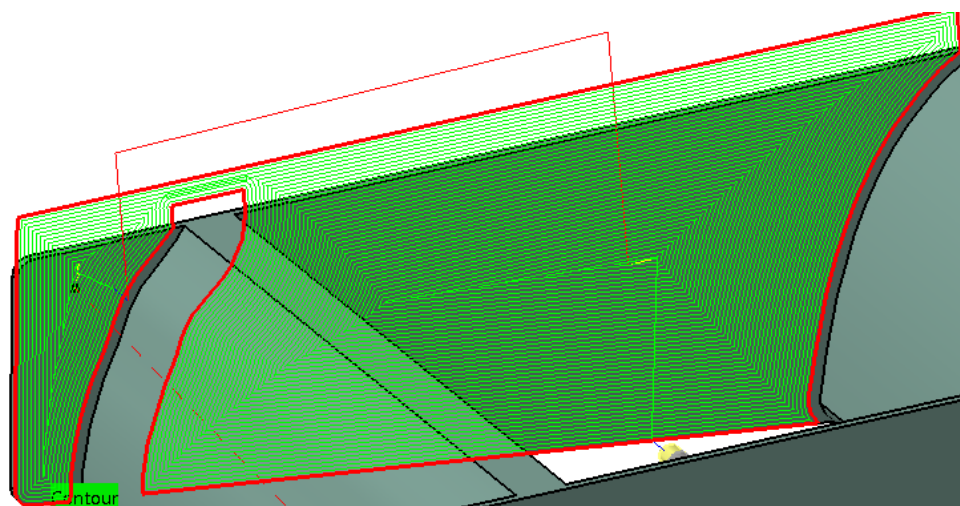


Figura 6-379. Pieza 6 del pedal: Trayectoria de desbaste

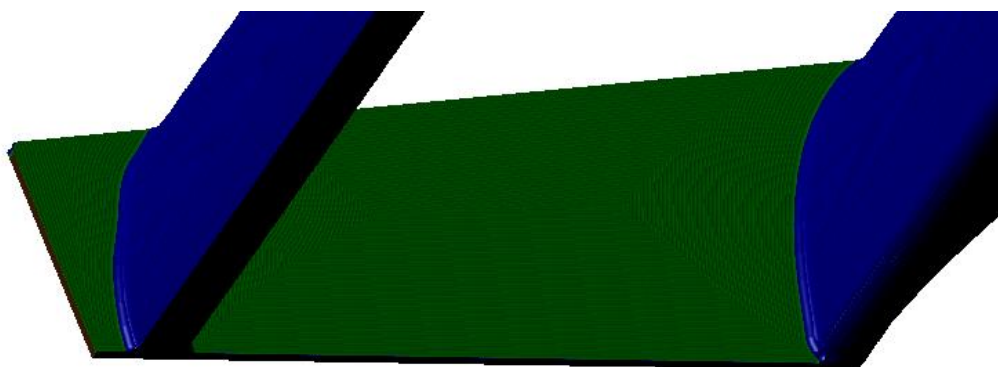


Figura 6-380. Pieza 6 del pedal: Resultado de desbaste

#### 7. Fresado espiral posterior y anterior (*Spiral milling.3, Spiral milling.4*):

- a. **Estrategia de mecanizado:** De ida y vuelta con distancia entre pasadas radiales de 0.75mm.
- b. **Geometría a mecanizar:** Parte 6 del pedal en dos operaciones distintas (una por cada lado).
- c. **Herramienta:** Fresa periférico-frontal AM2MBR0200A060 de Mitsubishi Materials (Figura 6-36, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).

- d. **Parámetros de corte:** Los definidos para mecanizado de aleaciones de aluminio con la herramienta de corte elegida (Figura 6-37, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- e. **Macros:** Definidas por defecto en CATIA.

La trayectoria seguida y el resultado de la operación son:

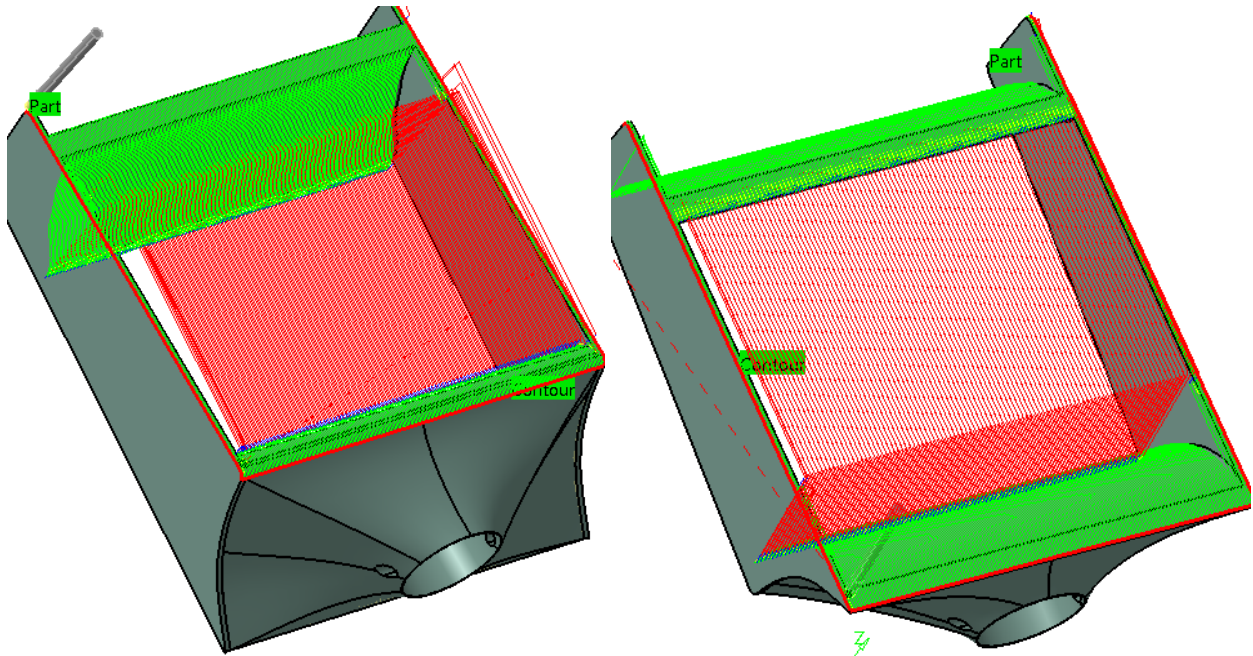


Figura 6-381. Pieza 6 del pedal: Trayectoria de fresado espiral posterior y anterior

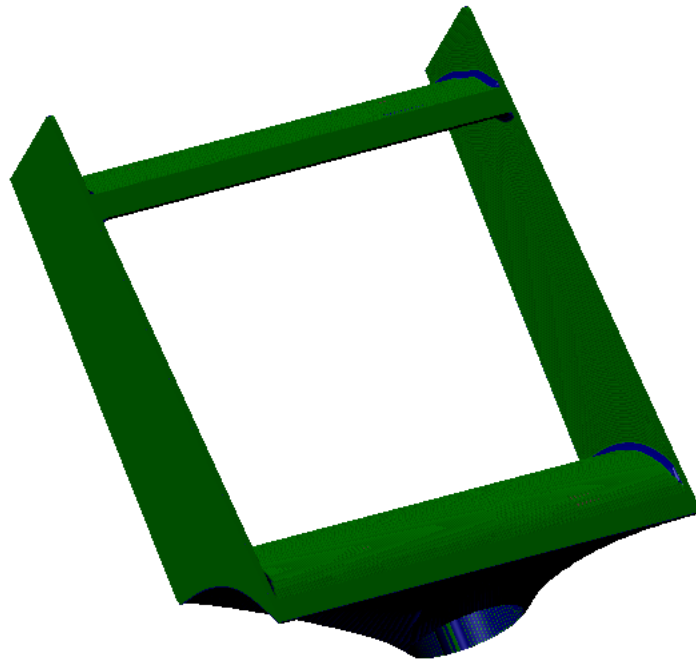


Figura 6-382. Pieza 6 del pedal: Resultado de fresado espiral posterior y anterior

En los bordes de las curvas queda material sin eliminar producto de las limitaciones encontradas por la herramienta usada (si mecanizamos todo ese material aparecerían colisiones).

#### 8. Fresado espiral inferior (*Spiral milling.5*):

- a. **Estrategia de mecanizado:** De ida y vuelta con distancia entre pasadas de 0.75mm.
- b. **Geometría a mecanizar:** Parte inferior de la parte 6.

- c. **Herramienta:** Fresa periférico-frontal AM2MBR0200A060 de Mitsubishi Materials (Figura 6-36, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- d. **Parámetros de corte:** Los definidos para mecanizado de aleaciones de aluminio con la herramienta de corte elegida (Figura 6-37, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- e. **Macros:** Definidas por defecto en CATIA.

Mostramos a continuación la trayectoria seguida.

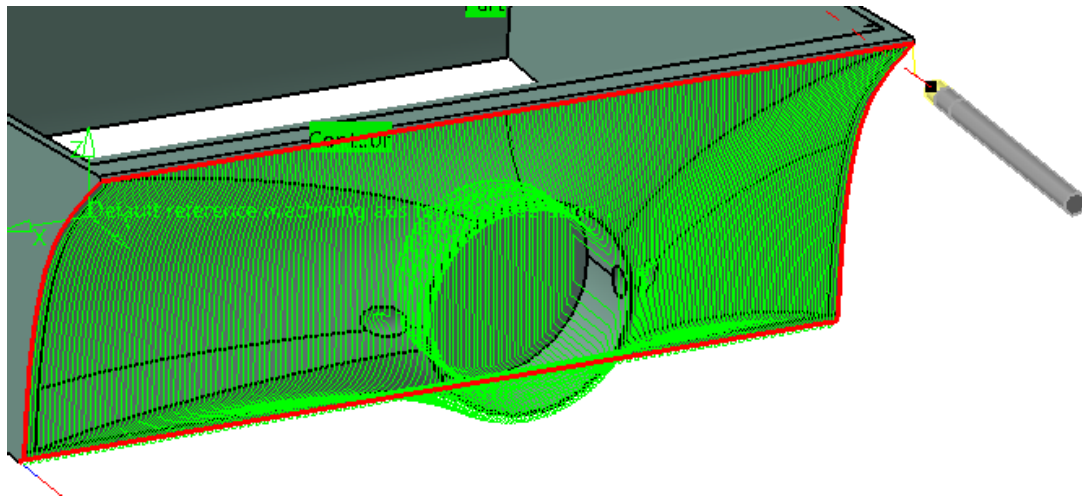


Figura 6-383. Pieza 6 del pedal: Trayectoria de fresado espiral inferior

#### 9. Taladrado (*Drilling.1, Drilling.2*):

- a. **Estrategia de mecanizado:** Taladrado en dos operaciones del agujero pasante de la parte inferior.
- b. **Geometría a mecanizar:** Agujero de diámetro 5.5mm.
- c. **Herramienta:** Broca A1 1190 D5.5 de UNCETA (Figuras 6-42 a 6-50, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- d. **Parámetros de corte:** Los definidos para mecanizado de aleaciones de aluminio con la herramienta de corte elegida (Tabla 6-1, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- e. **Macros:** Macros de aproximación y retirada por defecto (6.4.1.7. *Macros en operaciones de mecanizado*).

El resultado obtenido es el siguiente:

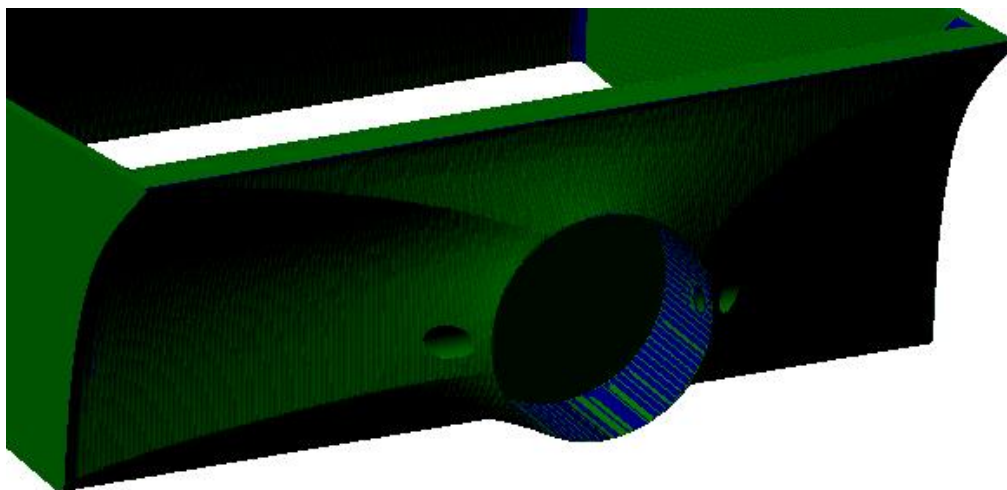


Figura 6-384. Pieza 6 del pedal: Resultado de fresado espiral inferior y taladrado

### 6.6.6.7 Ensamblaje pedales

Una vez tratada la fabricación de componentes, procedemos a describir cómo serían los procedimientos de ensamblaje.

1. **Unión mecánica 3-5:** Por presión y apriete.

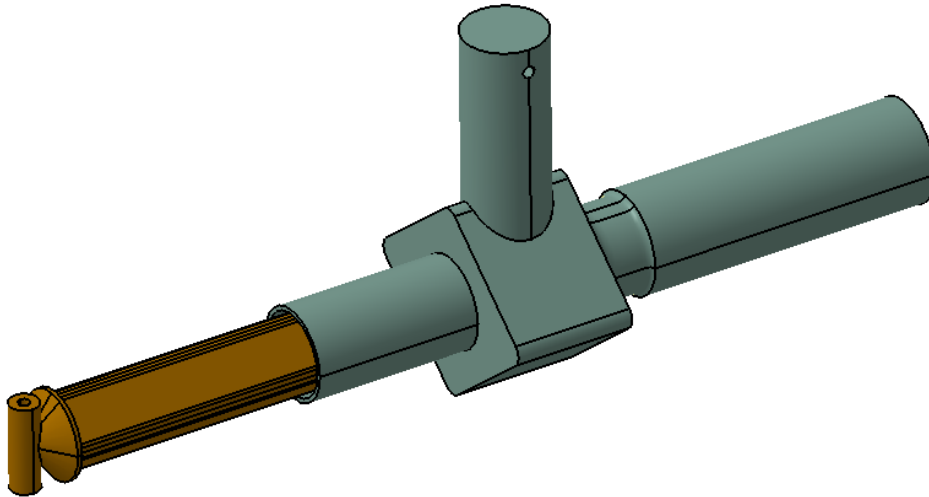


Figura 6-385. Pedal: Ensamblaje piezas 3 y 5

2. **Unión mecánica 2-3:** Por presión y apriete.

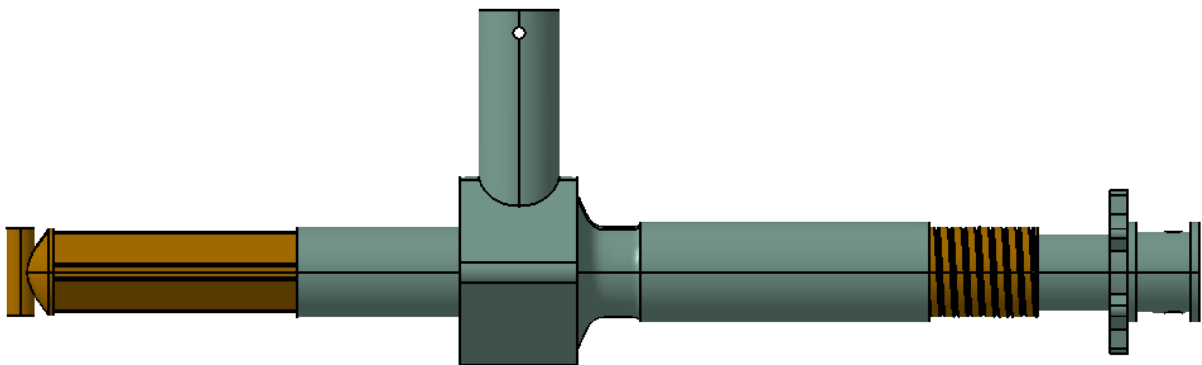


Figura 6-386. Pedal: Ensamblaje piezas 2 y 3

3. **Unión atornillada 1-2:** Mediante tornillo de 8 x 45mm y tuerca de diámetro interior 8mm.

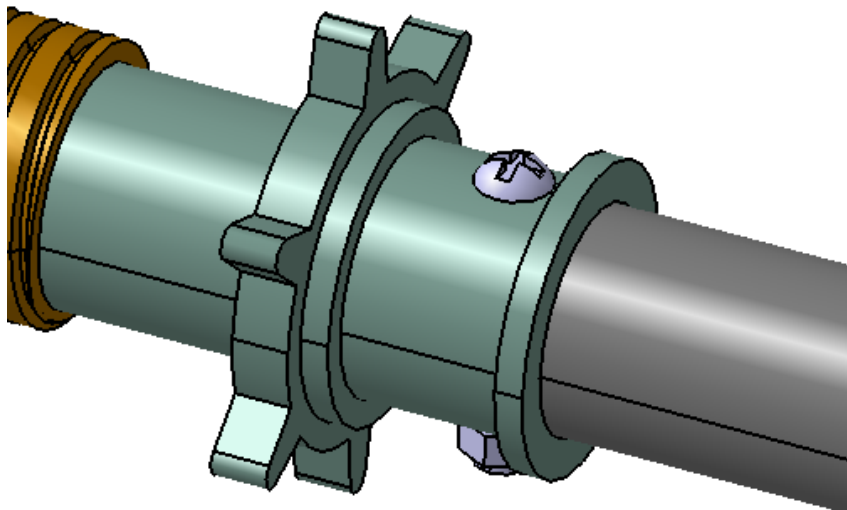


Figura 6-387. Pedal: Ensamblaje piezas 1 y 2

- 4. Unión atornillada 1-4:** Mediante tornillo de 5.5 x 45mm y tuerca de diámetro interior 5.5mm.

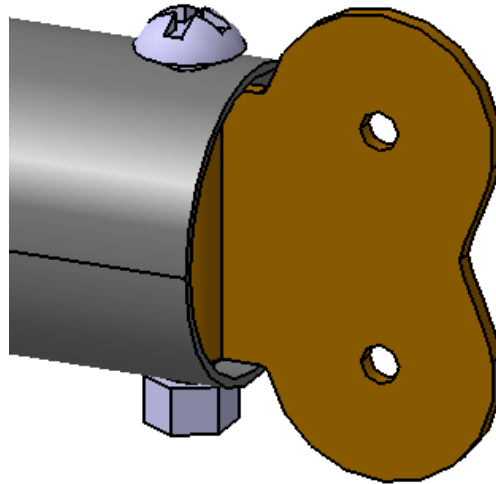


Figura 6-388. Pedal: Ensamblaje piezas 1 y 4

- 5. Unión con pasador 3-6:**

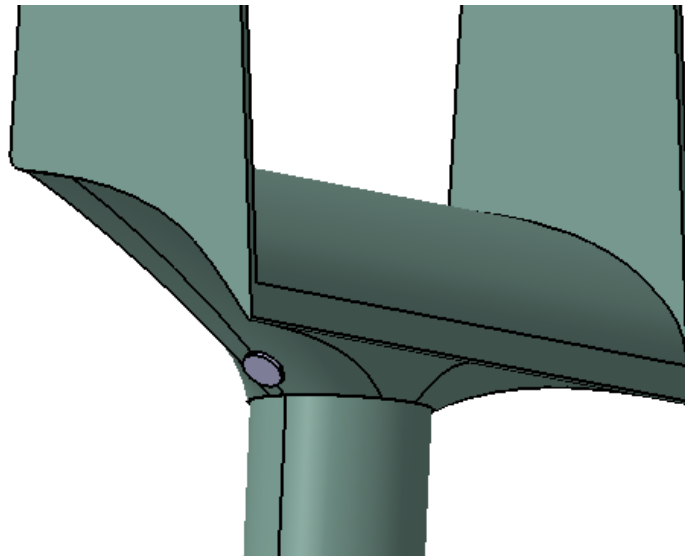


Figura 6-389. Pedal: Ensamblaje piezas 3 y 6

Nota: el modelado de los tornillos, tuercas y pasador es una ampliación llevada a cabo como parte del TFM.



### 6.6.7 Rudder bar y su soporte

*Rudder bar* se traduce como “barra timón”, lo que hace referencia directa a su función en la aeronave. Este conjunto transmite la traslación de los pedales al sistema responsable del movimiento del timón de profundidad (sistema neumático). Se acopla al resto del fuselaje mediante una estructura soporte.

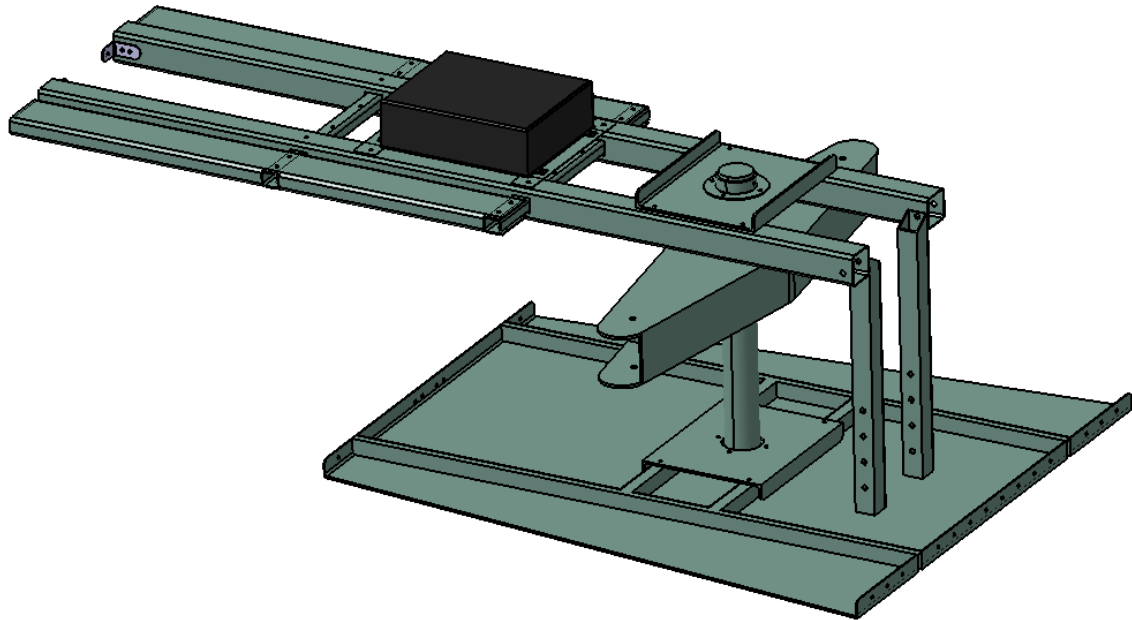


Figura 6-390. *Rudder bar* y su soporte modelados en CATIA

#### 6.6.7.1 Rudder bar: Parte 1

La parte 1 se encuentra directamente unida a los pedales (concretamente a la pieza 5 del pedal, **6.6.7.5 Pieza 5**). Se trata de la parte móvil que transmite el movimiento de los pedales. Sus dimensiones máximas son 430 x 100 x 46mm.

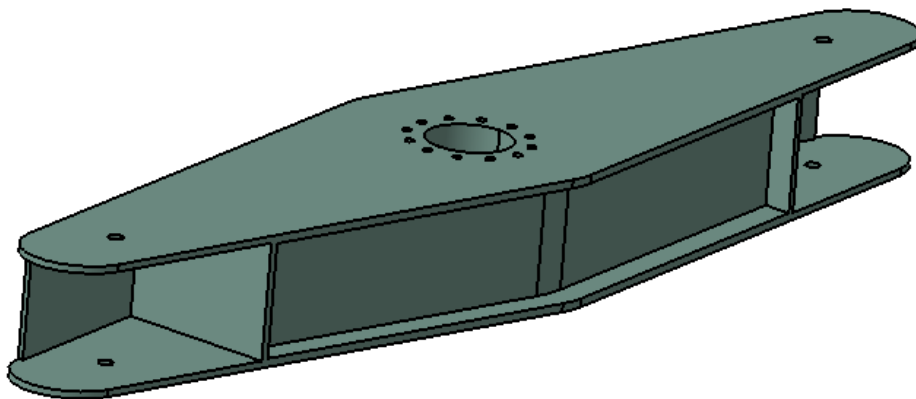


Figura 6-391. Parte 1 de *rudder bar* modelada en CATIA

Como preforma tomamos un ortoedro de base rectangular 440 x 110mm y altura 48mm.

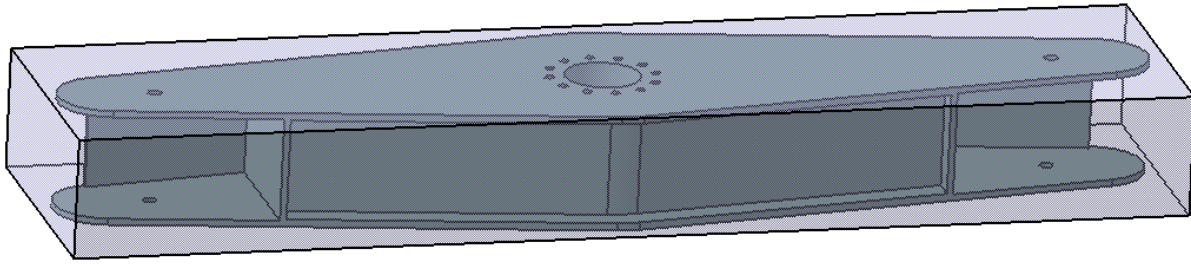


Figura 6-392. Parte 1 de *rudder bar*: Preforma

A continuación se muestra la secuencia de mecanizado seguida.

**1. Planeado por ambas caras (*Facing.1, Facing.2*):**

- a. **Estrategia de mecanizado:** Ida y vuelta con una pasada de desbaste y una de acabado.
- b. **Geometría a mecanizar:** Caras superior e inferior de la preforma, eliminando 1mm de material en cada una.
- c. **Herramienta:** Fresa de planeado ASX400-100B10R de Mitsubishi Materials (Figura 6-28, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- d. **Parámetros de corte:** Los definidos para mecanizado de aleaciones de aluminio con la herramienta de corte elegida (Figura 6-29, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- e. **Macros:** Macros de aproximación, retirada y aclarado del usuario (6.4.1.7. *Macros en operaciones de mecanizado*).

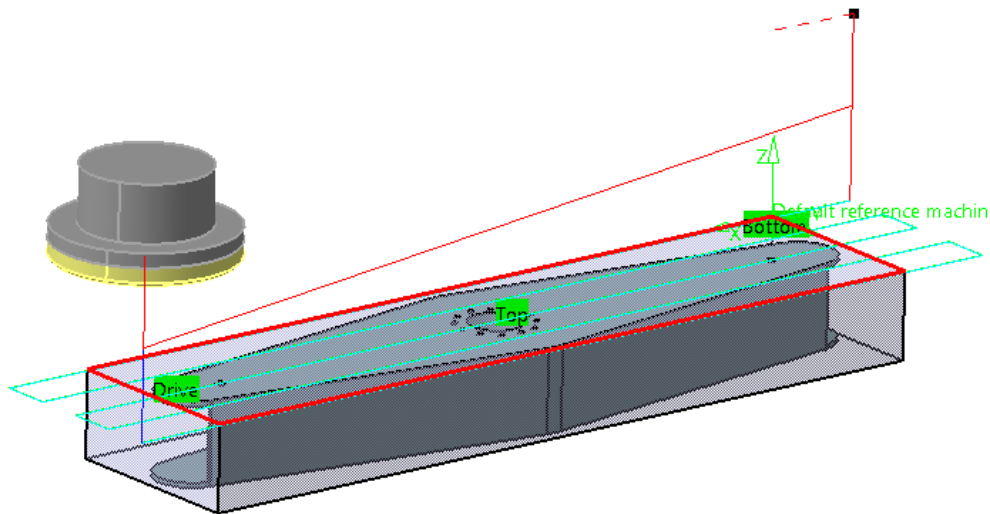


Figura 6-393. Parte 1 de *rudder bar*: Trayectoria de planeado

**2. Contorneado exterior (*Profile Contouring.1*):**

- a. **Estrategia de mecanizado:** Zig-zag con tres pasadas de desbaste y tres de acabado (mecanizado en tres axiales con pasada de acabado).
- b. **Geometría a mecanizar:** Contorno exterior.
- c. **Herramienta:** Fresa periférico-frontal VQJHVD1200 de Mitsubishi Materials (Figura 6-32, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- d. **Parámetros de corte:** Los definidos para mecanizado de aleaciones de aluminio con la herramienta de corte elegida (Figura 6-33, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- e. **Macros:** Macros de aproximación y retirada del usuario (6.4.1.7. *Macros en operaciones de mecanizado*).

En las siguientes figuras podemos ver la trayectoria de mecanizado y el resultado.



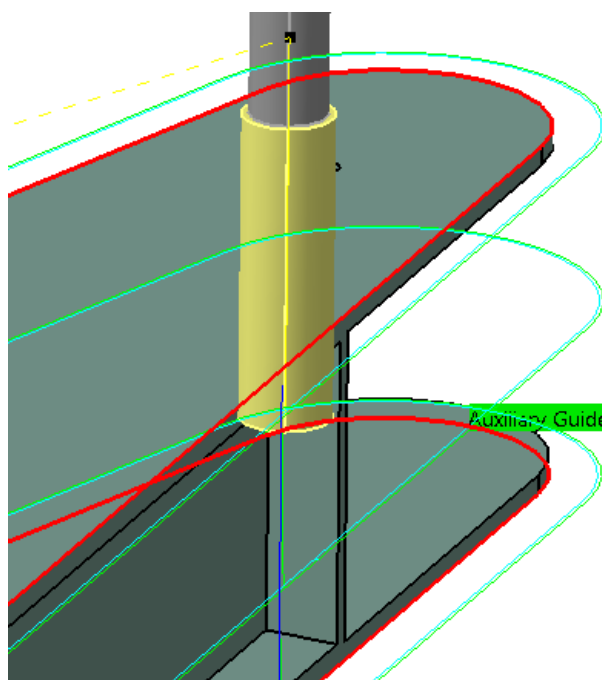


Figura 6-394. Parte 1 de *rudder bar*: Trayectoria de contorneado exterior

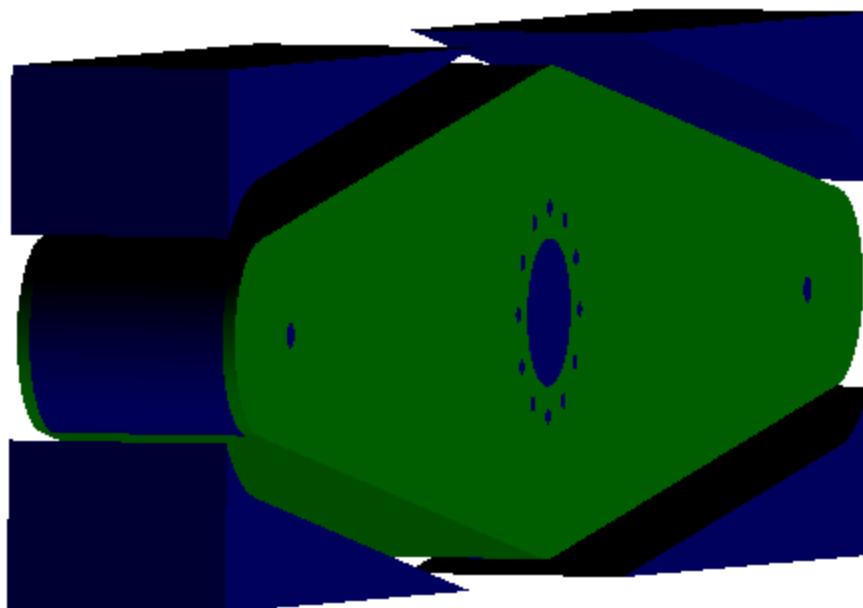


Figura 6-395. Parte 1 de *rudder bar*: Resultado de contorneado exterior

### 3. Vaciado (*Pocketing.1*):

- a. **Estrategia de mecanizado:** Helicoidal hacia fuera con cuatro pasadas de desbaste (mecanizado en dos niveles radiales y dos axiales).
- b. **Geometría a mecanizar:** Agujeros de diámetro 30mm.
- c. **Herramienta:** Fresa periférico-frontal VQJHVD1200 de Mitsubishi Materials (Figura 6-32, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- d. **Parámetros de corte:** Los definidos para mecanizado de aleaciones de aluminio con la herramienta de corte elegida (Figura 6-33, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- e. **Macros:** Macros de aproximación, retirada y aclarado del usuario (6.4.1.7. *Macros en operaciones de mecanizado*).

En las siguientes figuras podemos ver la trayectoria de mecanizado y el resultado.

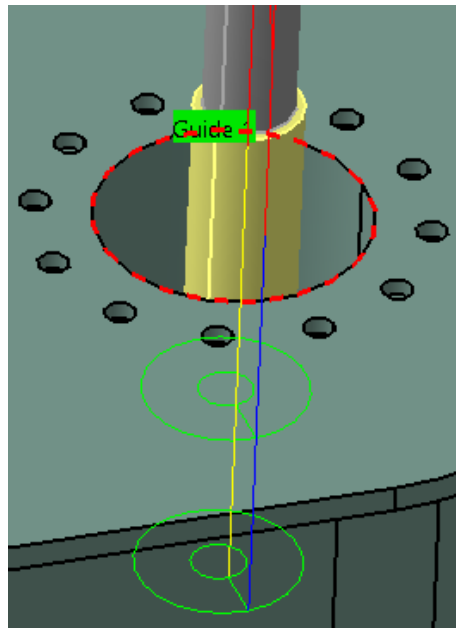


Figura 6-396. Parte 1 de *rudder bar*: Trayectoria de vaciado

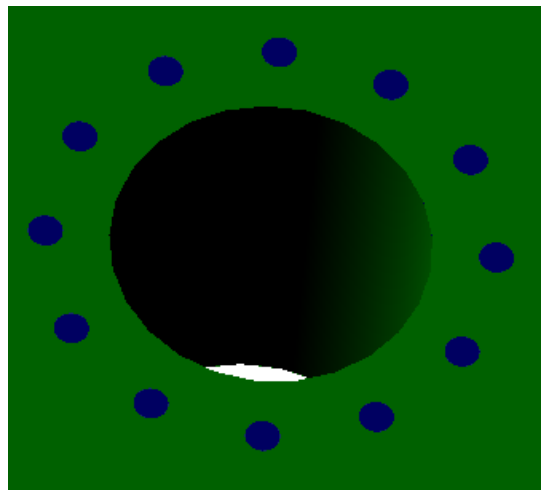
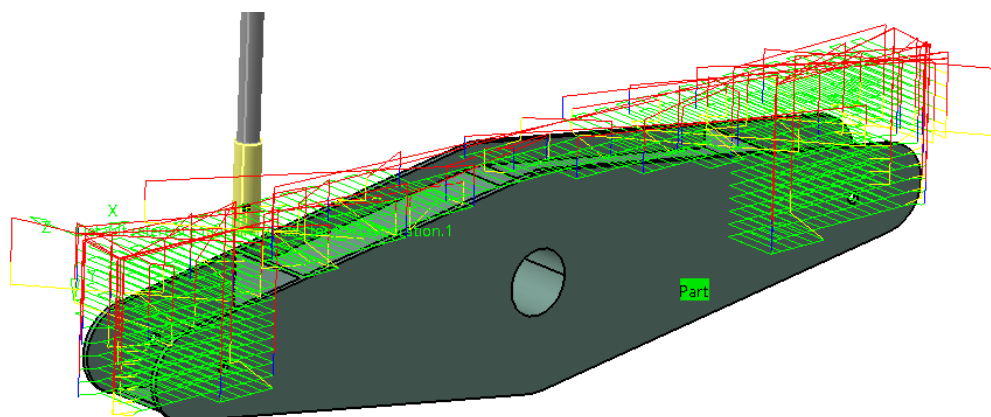
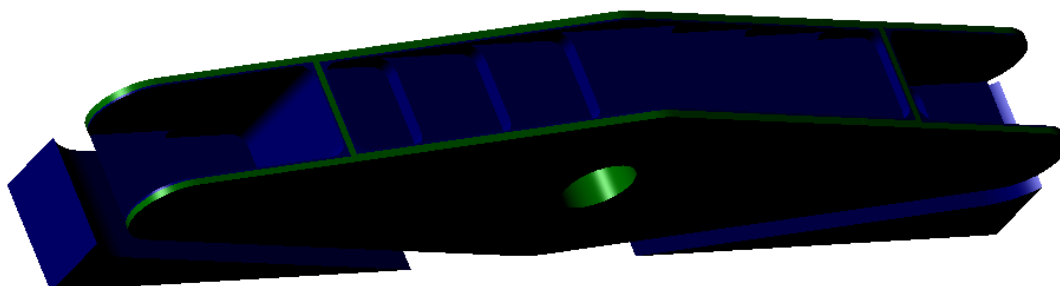


Figura 6-397. Parte 1 de *rudder bar*: Resultado de vaciado

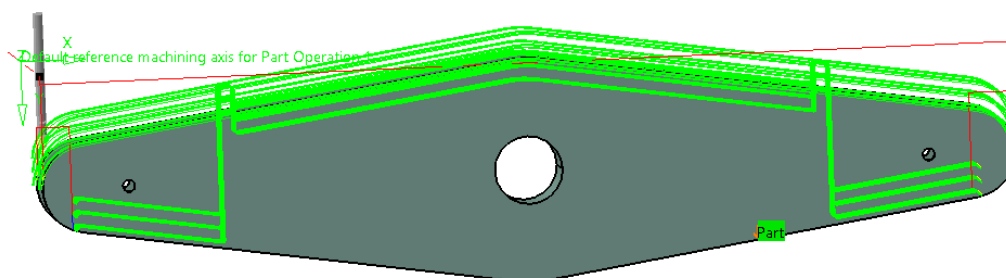
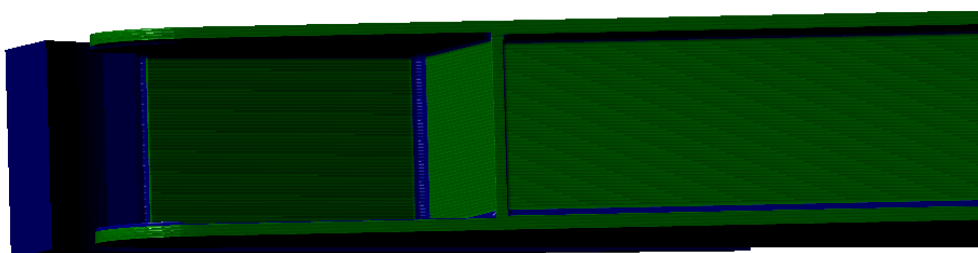
#### 4. Desbaste (*Roughing.1*):

- Estrategia de mecanizado:** Por área y sólo los huecos. Trayectoria en zig-zag.
- Geometría a mecanizar:** Agujeros laterales.
- Herramienta:** Fresa periférico-frontal VQJHVD1200 de Mitsubishi Materials (Figura 6-32, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- Parámetros de corte:** Los definidos para mecanizado de aleaciones de aluminio con la herramienta de corte elegida (Figura 6-33, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- Macros:** Macros por defecto definidas en CATIA.

Figura 6-398. Parte 1 de *rudder bar*: Trayectoria de desbasteFigura 6-399. Parte 1 de *rudder bar*: Resultado de desbaste

## 5. Barrido (*Sweeping.1*):

- a. **Estrategia de mecanizado:** Zig-zag.
- b. **Geometría a mecanizar:** Huecos laterales.
- c. **Herramienta:** Fresa periférico-frontal AM2MBR0200A060 de Mitsubishi Materials (Figura 6-36, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- d. **Parámetros de corte:** Los definidos para mecanizado de aleaciones de aluminio con la herramienta de corte elegida (Figura 6-37, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- e. **Macros:** Macros por defecto definidas en CATIA.

Figura 6-400. Parte 1 de *rudder bar*: Trayectoria de barridoFigura 6-401. Parte 1 de *rudder bar*: Resultado de barrido

## 6. Contorneado interior (*Profile Contouring.2-Profile Contouring.6*):

- a. **Estrategia de mecanizado:** Zig-zag con dos pasadas de desbaste y dos de acabado para la zona central (mecanizado en dos niveles axiales con pasada de acabado en ambos) y diez pasadas de desbaste y diez de acabado para los huecos de los extremos (mecanizado en diez niveles axiales con pasada de acabado en todos).
- b. **Geometría a mecanizar:** Huecos interiores.
- c. **Herramienta:** Fresa periférico-frontal AM2MBR0200A060 de Mitsubishi Materials (Figura 6-36, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- d. **Parámetros de corte:** Los definidos para mecanizado de aleaciones de aluminio con la herramienta de corte elegida (Figura 6-37, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- e. **Macros:** Macros de aproximación, retirada y aclarado del usuario (6.4.1.7. *Macros en operaciones de mecanizado*).

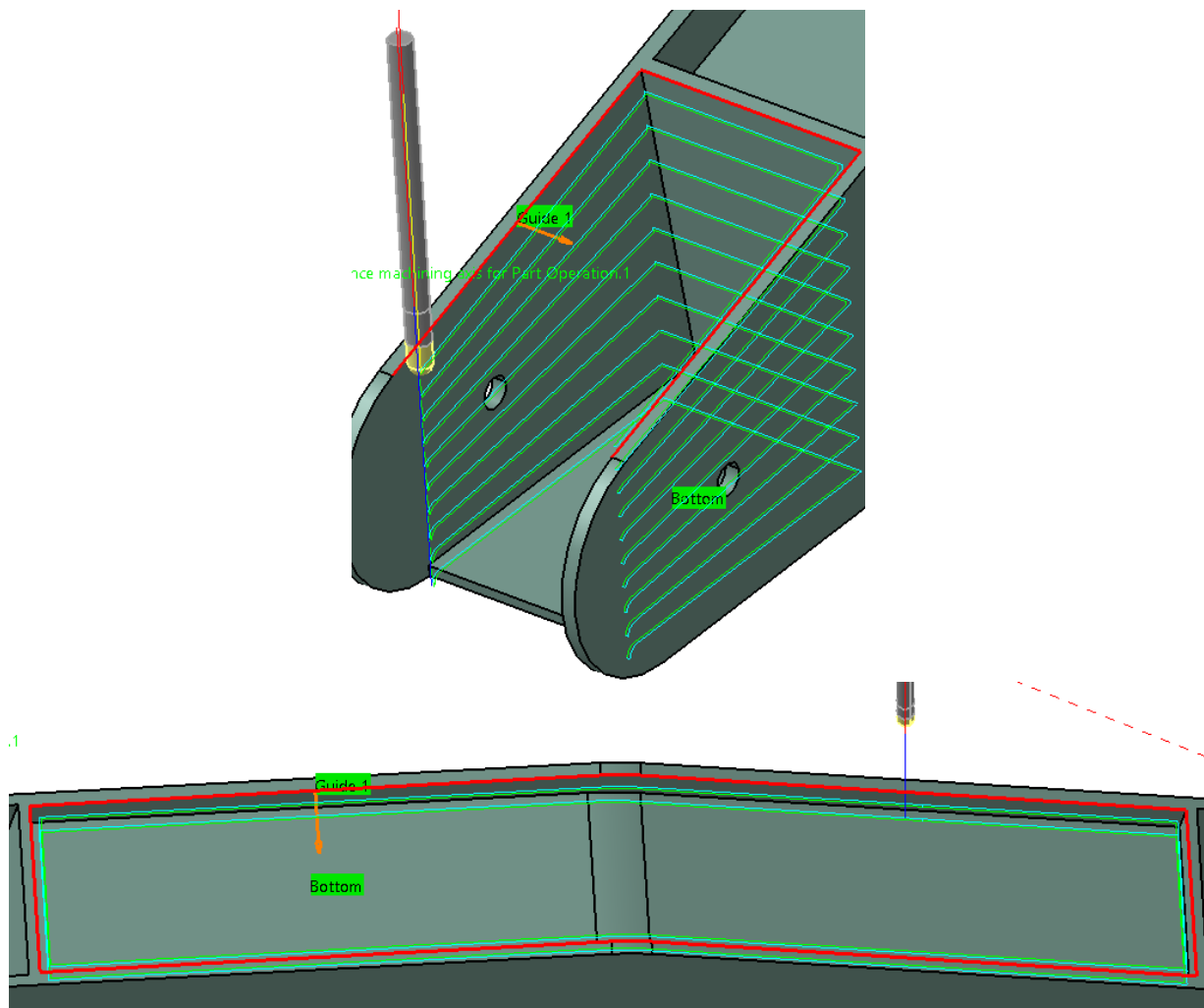


Figura 6-402. Parte 1 de *rudder bar*: Trayectoria de contorneado interior

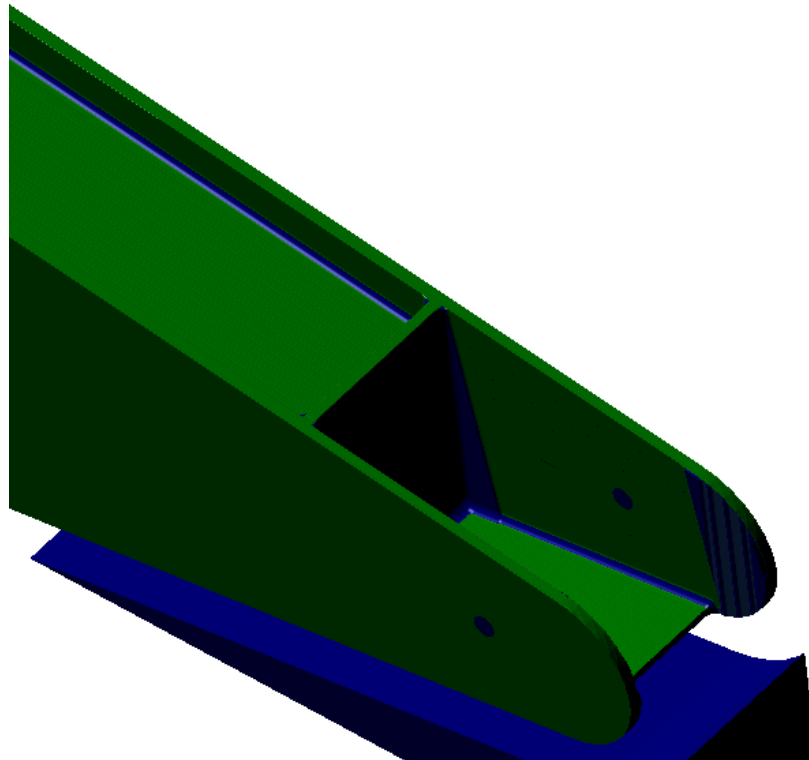


Figura 6-403. Parte 1 de *rudder bar*: Resultado de contorneado interior

#### 7. Taladrado (*Drilling.1, Drilling.2*):

- a. **Estrategia de mecanizado:** Agujeros ciegos de 3.5mm directamente y pasantes de 5.5mm con secuencia de taladrado 3.5-5.5mm.
- b. **Geometría a mecanizar:** Agujeros de 3.5 y 5.5mm.
- c. **Herramienta:** Brocas A2 2297 D3.5 (con ángulo de punta 180°) y A2 2060 D5.5 de UNCETA (Figuras 6-42 a 6-50, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- d. **Parámetros de corte:** Los definidos para mecanizado de aleaciones de aluminio con la herramienta de corte elegida (Tabla 6-1, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- e. **Macros:** Macros de aproximación, retirada y aclarado del usuario (6.4.1.7. *Macros en operaciones de mecanizado*).

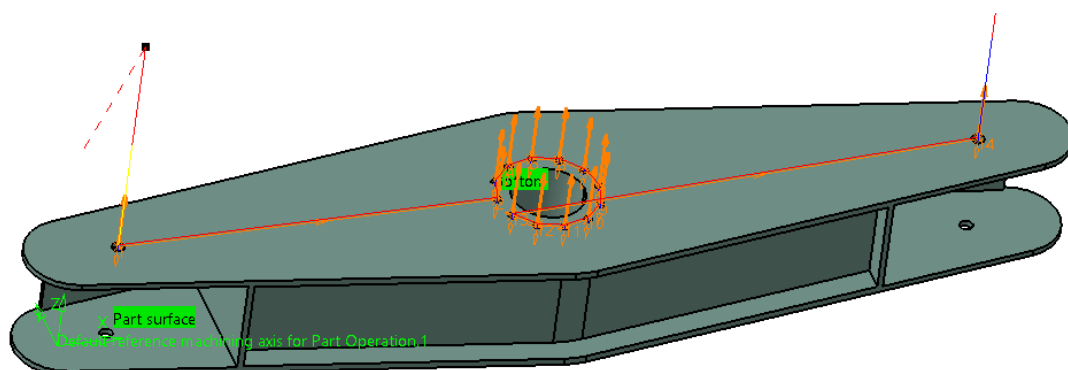


Figura 6-404. Parte 1 de *rudder bar*: Trayectoria de taladrado

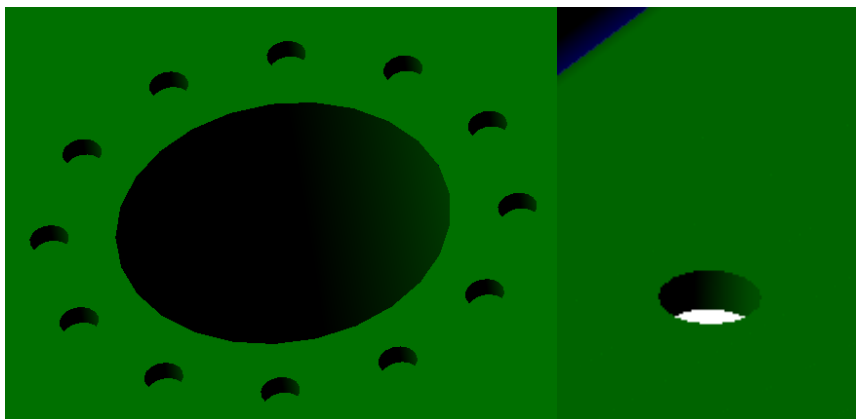


Figura 6-405. Parte 1 de *rudder bar*: Resultado de taladrado

Para conseguir un acabado óptimo necesitaríamos realizar operaciones de retrabajado de esquinas (y sus zonas adyacentes) con una herramienta adecuada para esta labor. Sin embargo, las partes donde queda material sin eliminar no influyen en la funcionalidad de la pieza (tienen tolerancias dimensionales altas).

#### 6.6.7.2 Rudder bar: Parte 2

La parte 2 es una barra de diámetro máximo 50mm y longitud 259mm, obtenida mediante torneado.

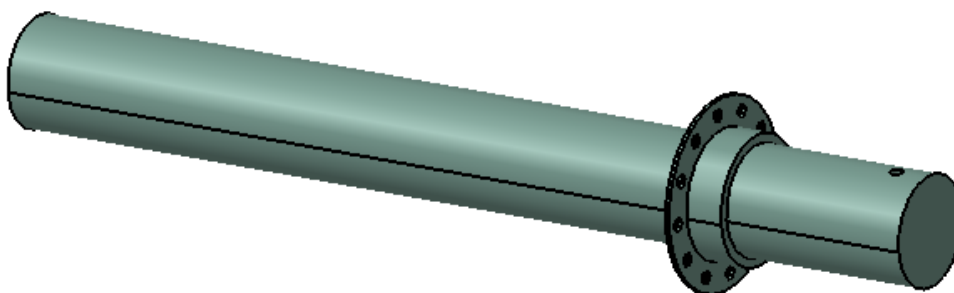


Figura 6-406. Parte 2 de *rudder bar* modelada en CATIA

1. **Laminación:** Con este proceso obtenemos una barra de dimensiones mayores a las máximas.
2. **Torneado:**
  - a. **Refrentado** de la superficie delantera.
  - b. **Cilindrado** de diámetro 29mm y profundidad 198mm.
  - c. **Cilindrado** de diámetro 50mm y profundidad 1mm.
  - d. **Cilindrado** de diámetro 34mm y profundidad 10mm.
  - e. **Cilindrado** de diámetro 29mm y profundidad 50mm.
  - f. **Tronzado** para cortar la longitud exacta del tubo.
3. **Taladrado (no implementado):**
  - a. **Estrategia de mecanizado:** Una secuencia de taladrado para los taladros pasantes de 3.5mm. Para el agujero de mayor profundidad (29mm), teniendo en cuenta que la longitud de corte de la herramienta utilizada es menor, utilizamos otra herramienta más larga.
  - b. **Geometría a mecanizar:** Agujeros de diámetro 3.5mm.

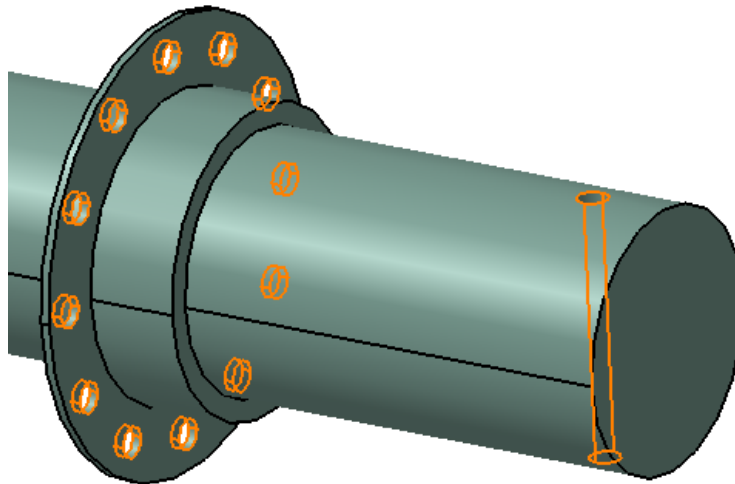


Figura 6-407. Parte 2 de *rudder bar*: Taladros pasantes mecanizados en CNC

- c. **Herramienta:** Broca A2 2297 D3.5 de UNCETA (Figuras 6-42 a 6-50, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- d. **Parámetros de corte:** Los definidos para mecanizado de aleaciones de aluminio con la herramienta de corte elegida (Tabla 6-1, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- e. **Macros:** Macros de aproximación, retirada y aclarado del usuario (6.4.1.7. *Macros en operaciones de mecanizado*).

### 6.6.7.3 Rudder bar: Parte 3

La parte 3 es un perfil cuadrado de 27.5mm con espesor 1mm y longitud 150mm.

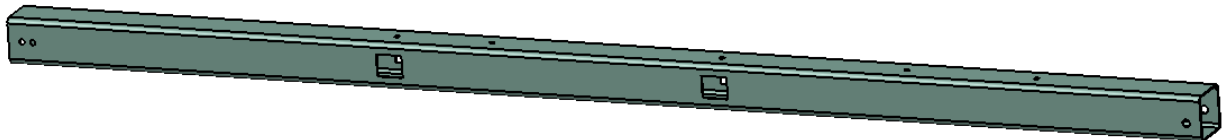


Figura 6-408. Parte 3 de *rudder bar* modelada en CATIA

1. **Laminación:** Con este proceso obtenemos una barra de dimensiones mayores a las máximas.
2. **Extrusión:** Se hace pasar la barra anteriormente obtenida por una matriz o hilera de perfil hueco con la forma del perfil.

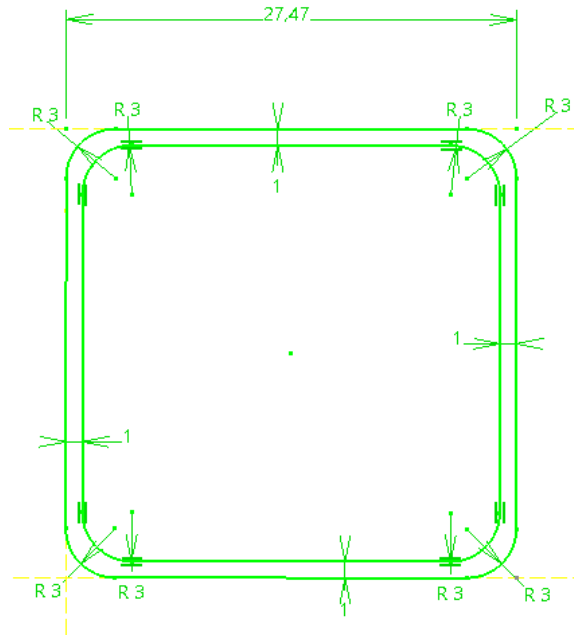


Figura 6-409. Parte 3 de *rudder bar*: Perfil de extrusión

**3. Vaciado con retrabado de esquinas (*Pocketing.1-Pocketing.4, Prismatic rework area.1*):**

- a. **Estrategia de mecanizado:** Helicoidal hacia fuera con una pasada de desbaste y una de acabado.
- b. **Geometría a mecanizar:** Rectángulos de 16 x 13.5mm.
- c. **Herramienta:** Fresas periférico-frontales VQJHVD1200 y AM2MBR0100A060 (para retrabado) de Mitsubishi Materials (Figuras 6-32 y 6-38, apartado **6.3.3.5 Herramientas seleccionadas**).
- d. **Parámetros de corte:** Los definidos para mecanizado de aleaciones de aluminio con la herramienta de corte elegida (Figuras 6-33 y 6-39, apartado **6.3.3.5 Herramientas seleccionadas**).
- e. **Macros:** Macros de aproximación, retirada y aclarado del usuario (**6.4.1.7. Macros en operaciones de mecanizado**).



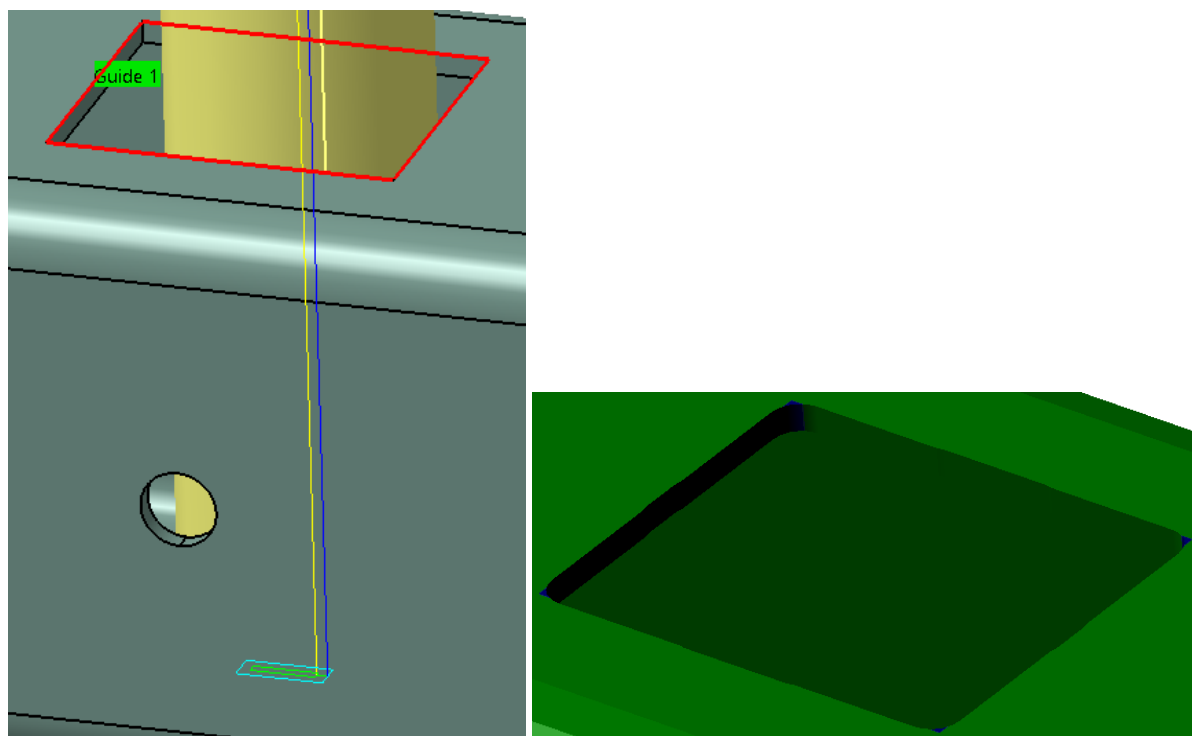


Figura 6-410. Parte 3 de *rudder bar*: Trayectoria y resultado de vaciado

#### 4. Taladrado (no implementado):

- a. **Estrategia de mecanizado:** Secuencia de taladrado 3.5-5mm para los taladros pasantes de 5mm y una sola pasada para los de 3.5mm.
- b. **Geometría a mecanizar:** Agujeros de diámetro 3.5 y 5mm.

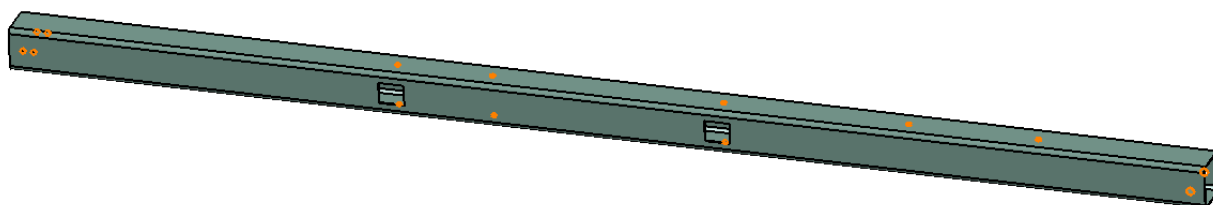


Figura 6-411. Parte 3 de *rudder bar*: Taladros pasantes mecanizados en CNC

- c. **Herramienta:** Brocas A2 2297 D3.5 y A2 2060 D5 de UNCETA (Figuras 6-42 a 6-50, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- d. **Parámetros de corte:** Los definidos para mecanizado de aleaciones de aluminio con la herramienta de corte elegida (Tabla 6-1, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- e. **Macros:** Macros de aproximación, retirada y aclarado del usuario (6.4.1.7. *Macros en operaciones de mecanizado*). Habría que definir macros para evitar colisiones en la simulación que se corresponden con paradas de máquina y giros de la pieza.

#### 6.6.7.4 Rudder bar: Parte 4

La parte 4 es una chapa (espesor 2mm) de aluminio cuya fabricación será simulada en la máquina CNC, aunque podríamos obtenerla también mediante doblado de chapa.

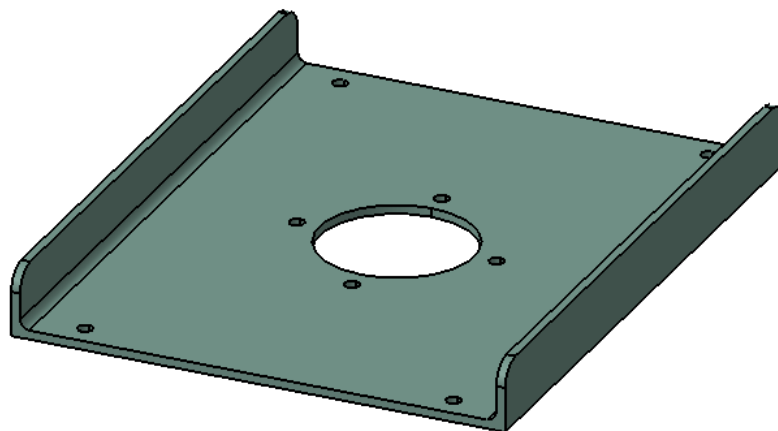


Figura 6-412. Parte 4 de *rudder bar* modelada en CATIA

Para la preforma usamos un ortoedro de base 110 x 138mm y altura 17mm.

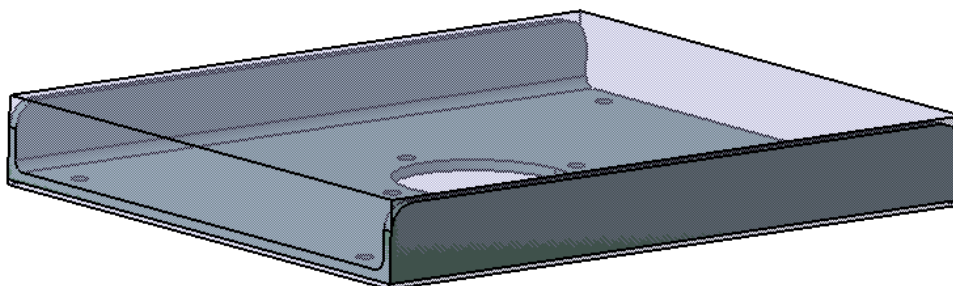


Figura 6-413. Parte 4 de *rudder bar*: Preforma

Secuencia de mecanizado:

##### 1. Planeado por ambas caras (*Facing.1, Facing.2*):

- a. **Estrategia de mecanizado:** Ida y vuelta con una pasada de desbaste y una de acabado.
- b. **Geometría a mecanizar:** Caras superior e inferior de la preforma.
- c. **Herramienta:** Fresa de planeado ASX400-100B10R de Mitsubishi Materials (Figura 6-28, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- d. **Parámetros de corte:** Los definidos para mecanizado de aleaciones de aluminio con la herramienta de corte elegida (Figura 6-29, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- e. **Macros:** Macros de aproximación, retirada y aclarado del usuario (6.4.1.7. *Macros en operaciones de mecanizado*).

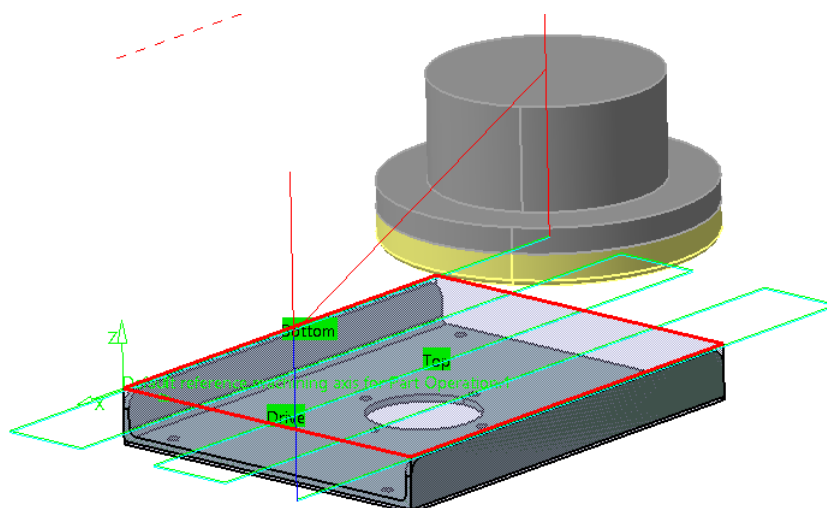


Figura 6-414. Parte 4 de *rudder bar*: Trayectoria de planeado

## 2. Vaciado (*Pocketing.1, Pocketing.2*):

- Estrategia de mecanizado:** Helicoidal hacia fuera con tres pasadas de desbaste y una de acabado para el cajeado (mecanizado en un nivel axial y tres radiales) y una pasada de desbaste y una de acabado para el vaciado.
- Geometría a mecanizar:** Cavity principal de la pieza y agujero de diámetro 34.5mm.
- Herramienta:** Fresa periférico-frontal IMX25C3A280R32023 de Mitsubishi Materials (Figura 6-30, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- Parámetros de corte:** Los definidos para mecanizado de aleaciones de aluminio con la herramienta de corte elegida (Figura 6-31, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- Macros:** Macros de aproximación, retirada y aclarado del usuario (6.4.1.7. *Macros en operaciones de mecanizado*).

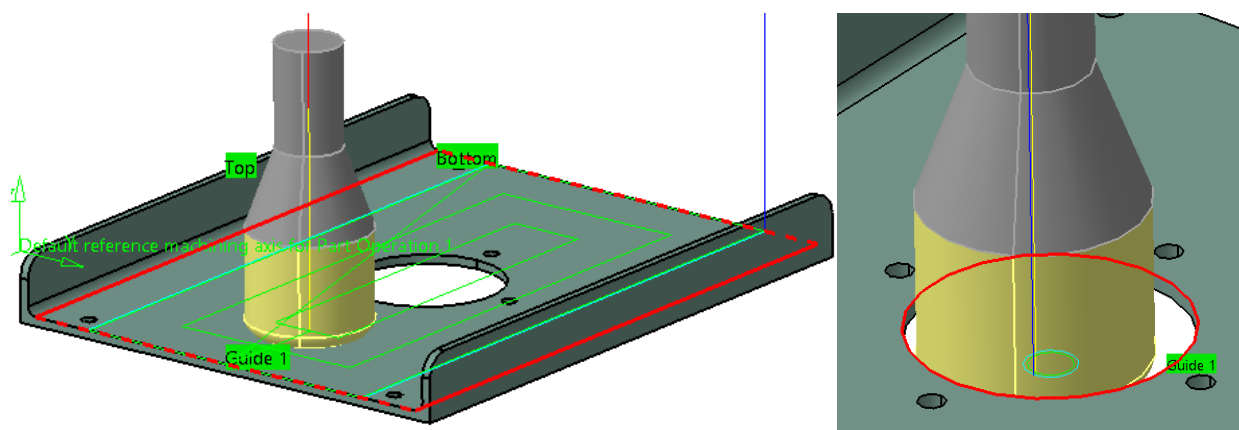


Figura 6-415. Parte 4 de *rudder bar*: Trayectoria de vaciado

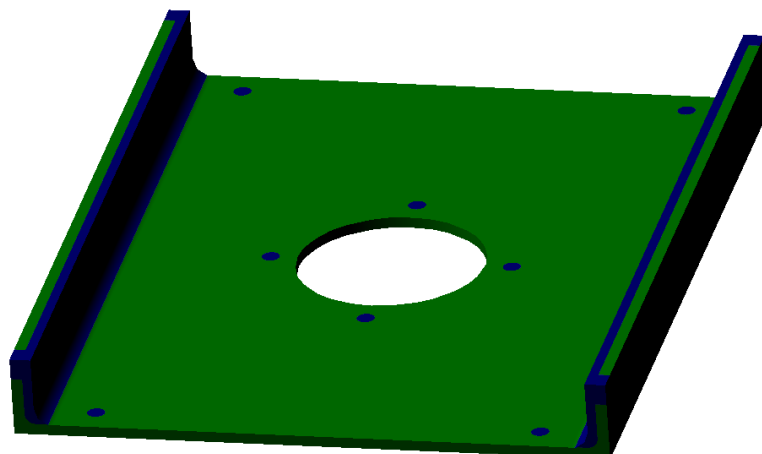


Figura 6-416. Parte 4 de *rudder bar*: Resultado de vaciado

### 3. Taladrado (*Drilling.1*):

- Estrategia de mecanizado:** Una sola pasada para los agujeros de 3.5mm. Transición entre taladros a 10mm de la superficie de la pieza.
- Geometría a mecanizar:** Agujeros de diámetro 3.5mm.
- Herramienta:** Broca A2 2297 D3.5 de UNCETA (Figuras 6-42 a 6-50, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- Parámetros de corte:** Los definidos para mecanizado de aleaciones de aluminio con la herramienta de corte elegida (Tabla 6-1, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- Macros:** Macros de aproximación, retirada y aclarado del usuario (6.4.1.7. *Macros en operaciones de mecanizado*).

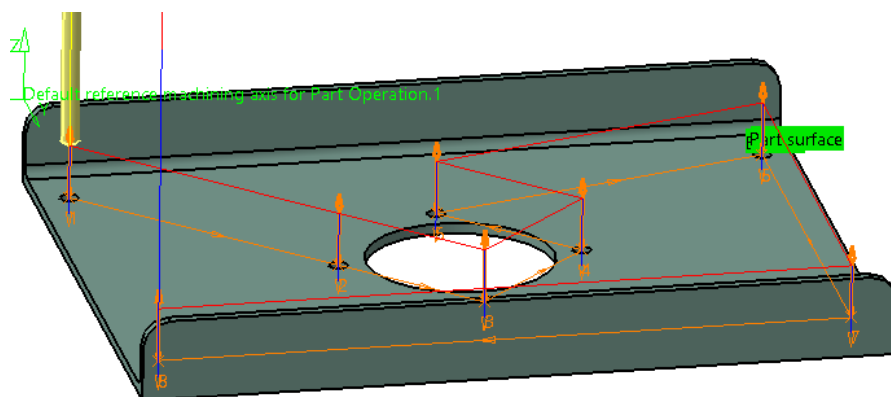


Figura 6-417. Parte 4 de *rudder bar*: Trayectoria de taladrado

### 4. Contorneado y mecanizado isoparamétrico (*Profile Contouring.1, Isoparametric machining.1*):

- Estrategia de mecanizado:** Zig-zag con nueve pasadas de desbaste y cinco de acabado para el contorneado (mecanizado en tres niveles axiales y tres radiales) y una pasada de desbaste para el mecanizado isoparamétrico.
- Geometría a mecanizar:** Contorno interior de la pieza sin mecanizar y esquinas redondeadas.
- Herramienta:** Fresa periférico-frontal AM2MBR0200A060 de Mitsubishi Materials (Figura 6-36, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- Parámetros de corte:** Los definidos para mecanizado de aleaciones de aluminio con la herramienta de corte elegida (Figura 6-37, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- Macros:** Macros de aproximación, retirada y aclarado del usuario (6.4.1.7. *Macros en operaciones de mecanizado*) para el contorneado y macros definidas por defecto en CATIA para el mecanizado isoparamétrico.

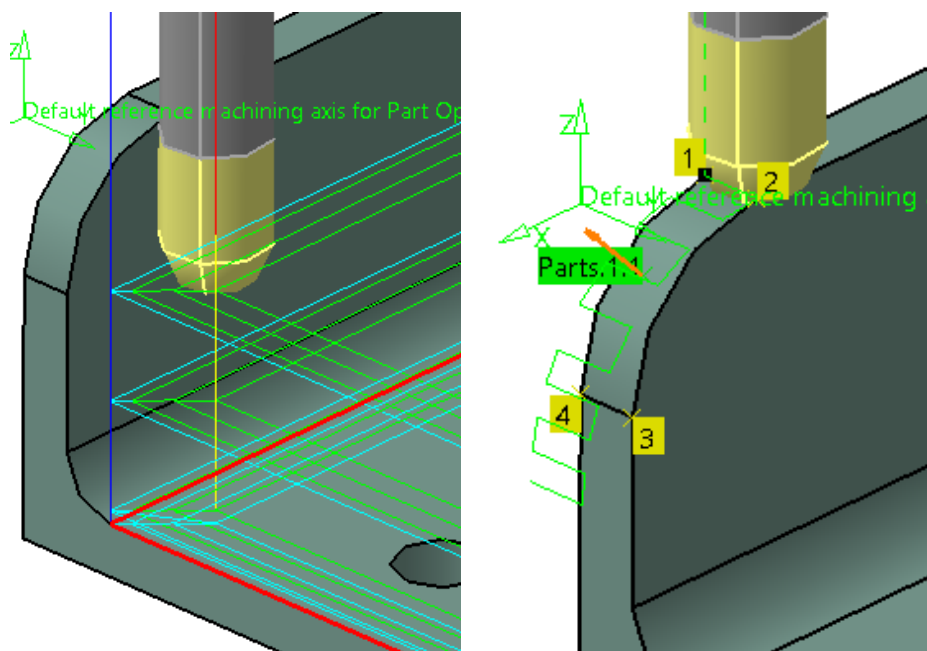


Figura 6-418. Parte 4 de *rudder bar*: Trayectoria de contorneado y mecanizado isoparamétrico

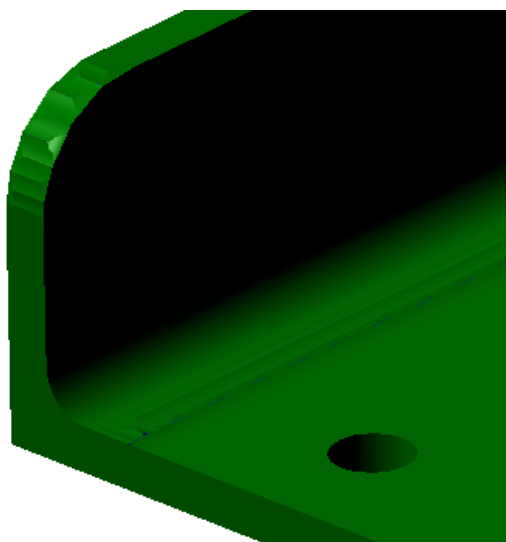


Figura 6-419. Parte 4 de *rudder bar*: Resultado de contorneado y mecanizado isoparamétrico

#### 6.6.7.5 Rudder bar: Parte 5

La parte 5 es un tubo de diámetro máximo 53.5mm y altura 11mm. Aunque podríamos obtenerlo fácilmente mediante torneado, simularemos su fabricación en nuestra máquina de control numérico.

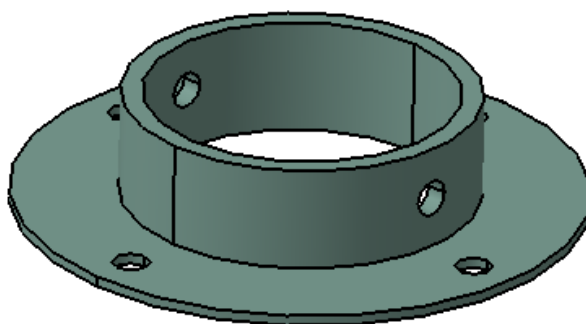


Figura 6-420. Parte 5 de *rudder bar* modelada en CATIA

Como preforma tomamos una pequeña pieza de aluminio de base cuadrada de 55mm y altura 13mm.

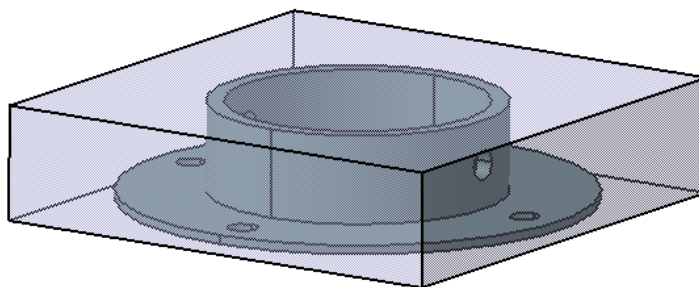


Figura 6-421. Parte 5 de *rudder bar*: Preforma

La secuencia de mecanizado es:

**1. Planeado por ambas caras (*Facing.1, Facing.2*):**

- a. **Estrategia de mecanizado:** Ida y vuelta con una pasada de desbaste y una de acabado.
- b. **Geometría a mecanizar:** Caras superior e inferior de la preforma, eliminando 1mm en cada.
- c. **Herramienta:** Fresa de planeado ASX400-100B10R de Mitsubishi Materials (Figura 6-28, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- d. **Parámetros de corte:** Los definidos para mecanizado de aleaciones de aluminio con la herramienta de corte elegida (Figura 6-29, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- e. **Macros:** Macros de aproximación, retirada y aclarado del usuario (6.4.1.7. *Macros en operaciones de mecanizado*).

**2. Contorneado exterior e interior (*Profile Contouring.1, Profile Contouring.2*):**

- a. **Estrategia de mecanizado:** Zig-zag con una pasada de desbaste y una de acabado.
- b. **Geometría a mecanizar:** Caras superior e inferior de la preforma.
- c. **Herramienta:** Fresa periférico-frontal VQJHVD1200 de Mitsubishi Materials (Figura 6-32, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- d. **Parámetros de corte:** Los definidos para mecanizado de aleaciones de aluminio con la herramienta de corte elegida (Figura 6-33, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- e. **Macros:** Macros de aproximación, retirada y aclarado del usuario (6.4.1.7. *Macros en operaciones de mecanizado*).

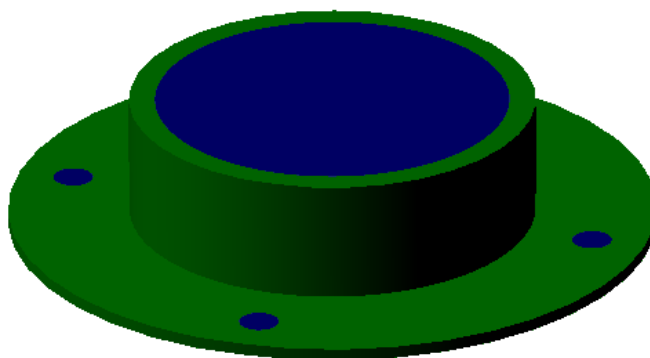


Figura 6-422. Parte 5 de *rudder bar*: Resultado de contorneado

**3. Vaciado (*Pocketing.1*):**

- a. **Estrategia de mecanizado:** Helicoidal hacia fuera con dos pasadas de desbaste y una de acabado (mecanizado en dos niveles radiales).
- b. **Geometría a mecanizar:** Hueco central de la pieza de diámetro 29.5mm.
- c. **Herramienta:** Fresa periférico-frontal VQJHVD1200 de Mitsubishi Materials (Figura 6-32,

apartado **6.3.3.5 Herramientas seleccionadas**).

- d. **Parámetros de corte:** Los definidos para mecanizado de aleaciones de aluminio con la herramienta de corte elegida (Figura 6-33, apartado **6.3.3.5 Herramientas seleccionadas**).
- e. **Macros:** Macros de aproximación, retirada y aclarado del usuario (**6.4.1.7. Macros en operaciones de mecanizado**).

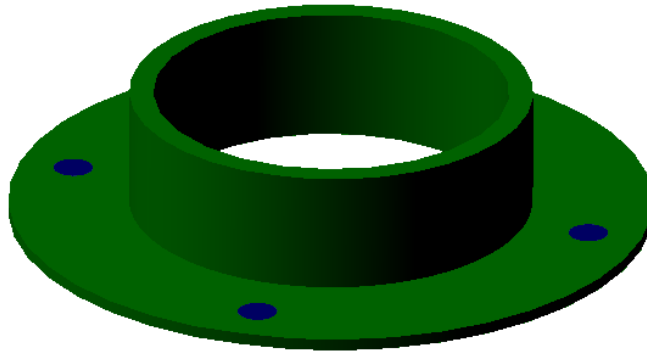


Figura 6-423. Parte 5 de *rudder bar*: Resultado de vaciado

#### 4. Taladrado (*Drilling.1-Drilling.3*):

- a. **Estrategia de mecanizado:** Taladrado directo a 3.5mm. Transición entre agujeros a 10mm de la pieza.
- b. **Geometría a mecanizar:** Agujeros de 3.5mm.
- c. **Herramienta:** Broca A2 2297 D3.5 de UNCETA (Figuras 6-42 a 6-50, apartado **6.3.3.5 Herramientas seleccionadas**).
- d. **Parámetros de corte:** Los definidos para mecanizado de aleaciones de aluminio con la herramienta de corte elegida (Tabla 6-1, apartado **6.3.3.5 Herramientas seleccionadas**).
- e. **Macros:** Macros de aproximación, retirada y aclarado del usuario (**6.4.1.7. Macros en operaciones de mecanizado**).

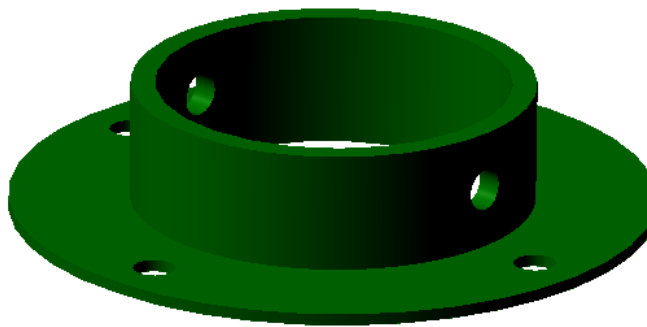


Figura 6-424. Parte 5 de *rudder bar*: Resultado de taladrado

#### 6.6.7.6 Rudder bar: Parte 6

Se trata de una barra hueca de perfil rectangular muy similar a la parte 3. Perfil rectangular 15.5 x 43.9mm (con esquinas redondeadas, radio 3mm), espesor 1mm y longitud 455.4mm.



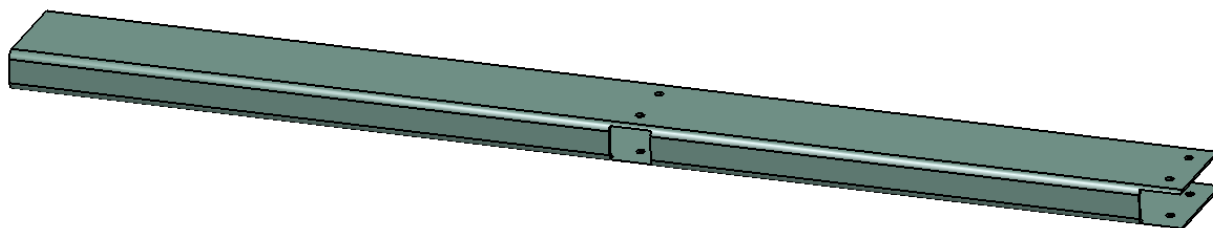


Figura 6-425. Parte 6 de *rudder bar* modelada en CATIA

Para mayor detalle ir al apartado **6.6.8.3 Rudder bar: Parte 3** (se siguen los mismos pasos para la fabricación).

#### 6.6.7.7 Rudder bar: Parte 7

Se trata de una barra hueca de perfil rectangular muy similar a las partes 3 y 6. Perfil rectangular 13.5 x 16mm (con esquinas redondeadas, radio 3mm), espesor 1mm y longitud 125.1mm.

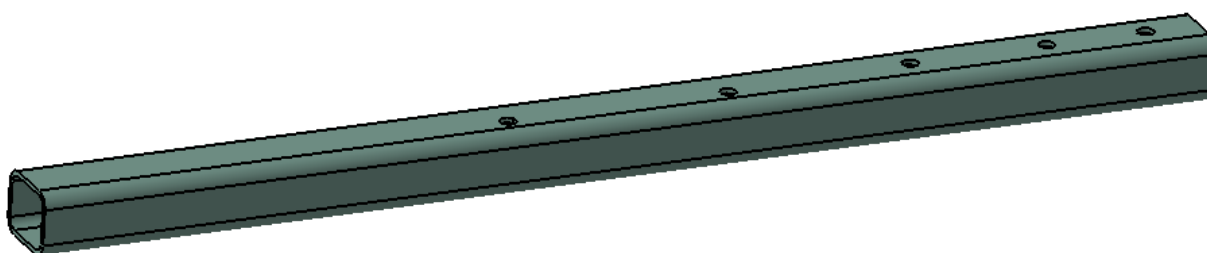


Figura 6-426. Parte 7 de *rudder bar* modelada en CATIA

Para mayor detalle ir al apartado **6.6.8.3 Rudder bar: Parte 3** (se siguen los mismos pasos para la fabricación).

#### 6.6.7.8 Rudder bar: Parte 8

Se trata de una escuadra que podemos obtener directamente de un proveedor a partir de sus especificaciones, o bien, obtener alguna de similares características y retrabajarla. Sus dimensiones son 20 x 12mm y 25 x 12mm con agujeros de 3.5mm.

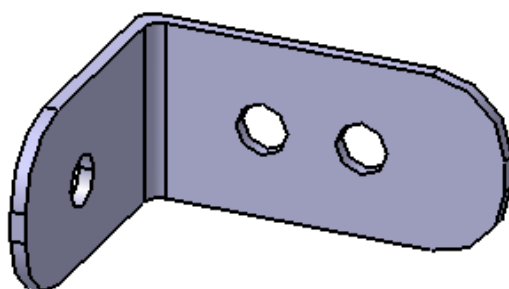


Figura 6-427. Parte 8 de *rudder bar* modelada en CATIA

#### 6.6.7.9 Rudder bar: Parte 9

La parte 9 es una pletina rectangular de aluminio de dimensiones 144.5 x 20mm y espesor 0.5mm (esquinas redondeadas de radio 2mm). Podemos obtener esta pieza directamente de un proveedor, haciendo en nuestro taller los taladros en su posición correcta.



Figura 6-428. Parte 9 de *rudder bar* modelada en CATIA

Por tanto como preforma tendremos la propia pletina sin los taladros de 3.5mm.



**1. Taladrado (*Drilling.1*):**

- a. **Estrategia de mecanizado:** Una pasada de desbaste. Transición entre agujeros a 10mm de la pieza.
- b. **Geometría a mecanizar:** Agujeros de 3.5mm.
- c. **Herramienta:** Broca A2 2297 D3.5 de UNCETA (Figuras 6-42 a 6-50, apartado **6.3.3.5 Herramientas seleccionadas**).
- d. **Parámetros de corte:** Los definidos para mecanizado de aleaciones de aluminio con la herramienta de corte elegida (Tabla 6-1, apartado **6.3.3.5 Herramientas seleccionadas**).
- e. **Macros:** Macros de aproximación, retirada y aclarado del usuario (**6.4.1.7. Macros en operaciones de mecanizado**).



Figura 6-429. Parte 9 de *rudder bar*: Resultado de taladrado en detalle

**6.6.7.10 Soporte rudder bar: Parte 1**

Esta parte es la base del soporte que se une mediante remachado a las cuadernas 6 y 8. Sus dimensiones máximas son 526.2 x 463 x 16mm.

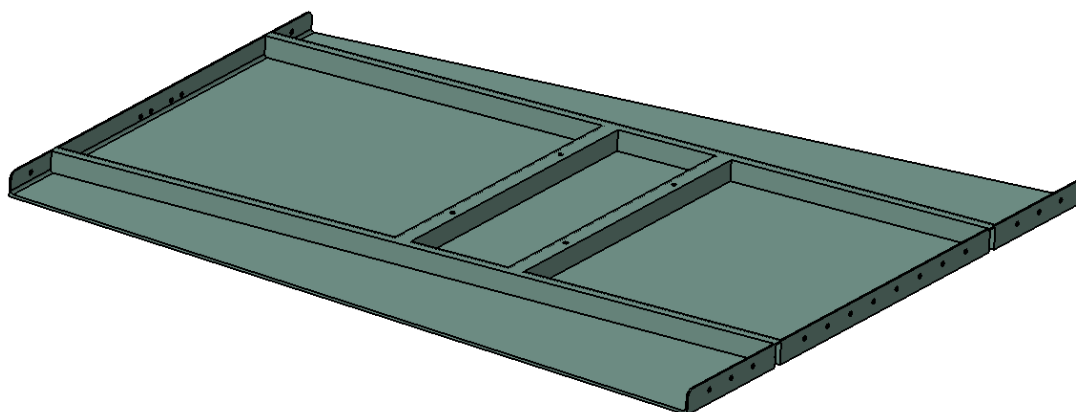


Figura 6-430. Parte 1 del soporte modelada en CATIA

La preforma será un ortoedro de dimensiones 530 x 470 x 18mm.

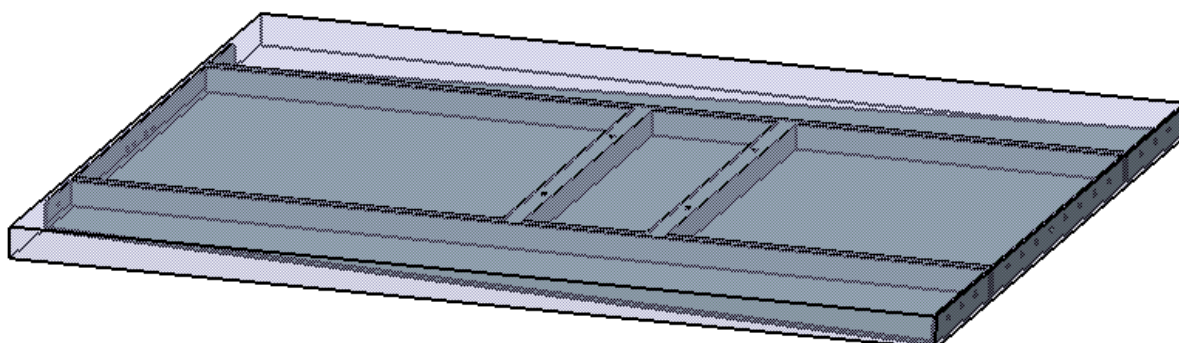


Figura 6-431. Parte 1 del soporte: Preforma

Las operaciones de mecanizado seguidas son:

**1. Planeado por ambas caras (*Facing.1, Facing.2*):**

- a. **Estrategia de mecanizado:** Ida y vuelta con una pasada de desbaste y una de acabado.
- b. **Geometría a mecanizar:** Caras superior e inferior de la preforma.
- c. **Herramienta:** Cabezal portacuchillas ASX400-100B10R de Mitsubishi Materials (Figura 6-28, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- d. **Parámetros de corte:** Los definidos para mecanizado de aleaciones de aluminio con la herramienta de corte elegida (Figura 6-29, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- e. **Macros:** Macros de aproximación, retirada y aclarado del usuario (6.4.1.7. *Macros en operaciones de mecanizado*).

**2. Contorneado (*Profile Contouring.1*):**

- a. **Estrategia de mecanizado:** Zig-zag con diez pasadas de desbaste y una de acabado (mecanizado en diez niveles radiales).
- b. **Geometría a mecanizar:** Contorno exterior de la pieza.
- c. **Herramienta:** Fresa periférico-frontal VQJHVD1200 de Mitsubishi Materials (Figura 6-32, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- d. **Parámetros de corte:** Los definidos para mecanizado de aleaciones de aluminio con la herramienta de corte elegida (Figura 6-33, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- e. **Macros:** Macros de aproximación, retirada y aclarado del usuario (6.4.1.7. *Macros en operaciones de mecanizado*).

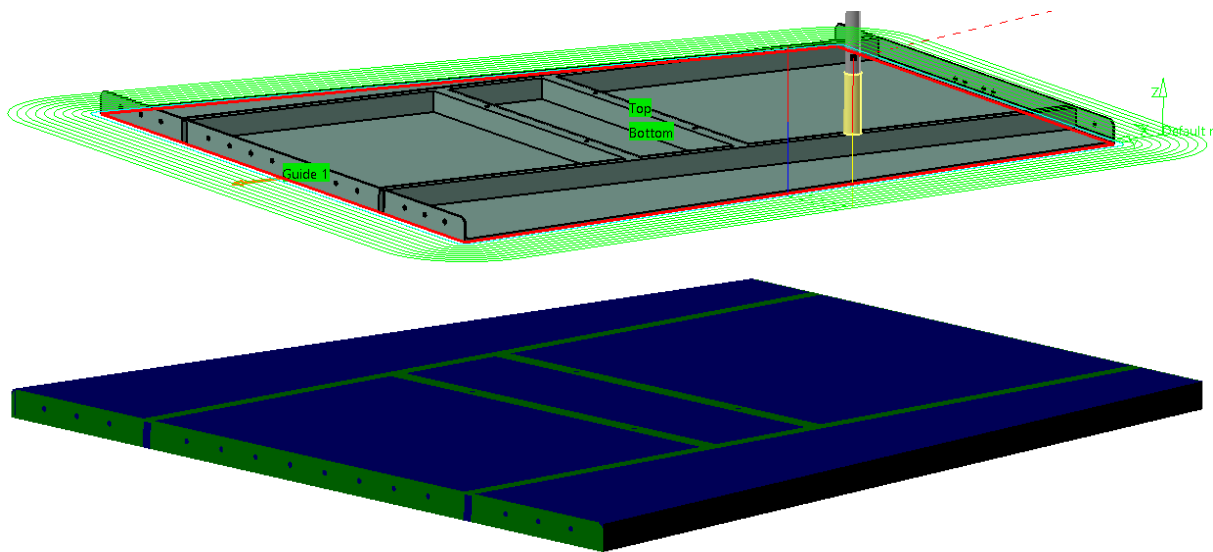


Figura 6-432. Parte 1 del soporte: Trayectoria y resultado de contorneado

**3. Vaciado superior (*Pocketing.1-Pocketing.5*):**

- a. **Estrategia de mecanizado:** Zig-zag con una pasada de desbaste y una de acabado.
- b. **Geometría a mecanizar:** Los diferentes huecos existentes en la cara superior de la pieza.
- c. **Herramienta:** Fresa periférico-frontal VQJHVD1200 de Mitsubishi Materials (Figura 6-32, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- d. **Parámetros de corte:** Los definidos para mecanizado de aleaciones de aluminio con la herramienta de corte elegida (Figura 6-33, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- e. **Macros:** Macros de aproximación, retirada y aclarado del usuario (6.4.1.7. *Macros en operaciones de mecanizado*).

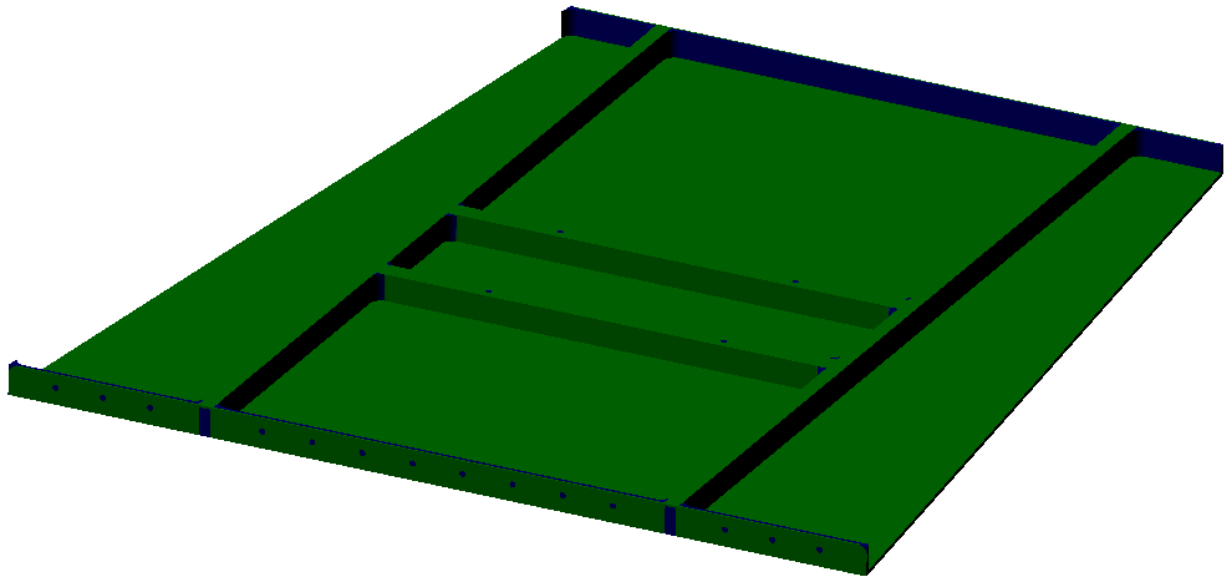
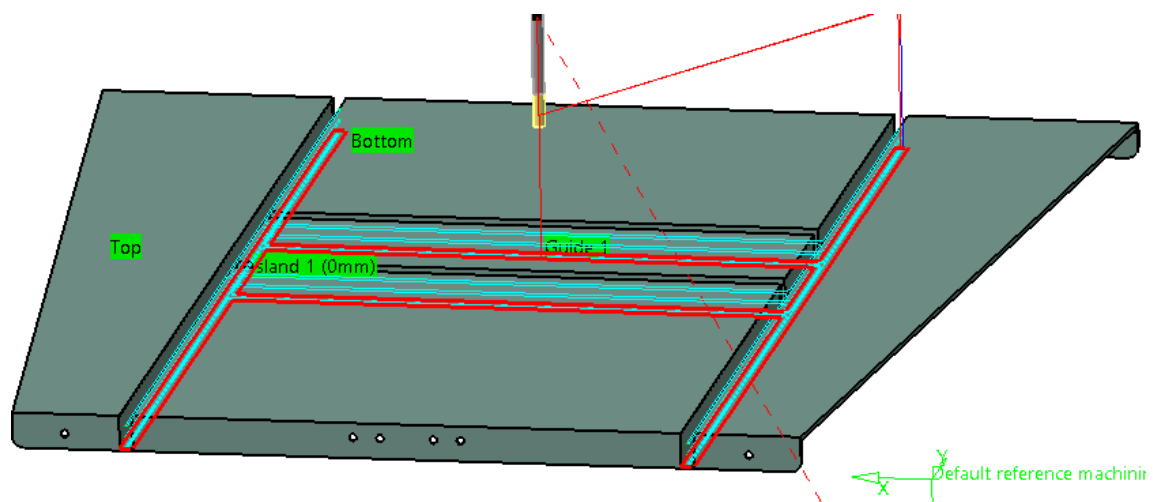


Figura 6-433. Parte 1 del soporte: Resultado de vaciado superior

#### 4. Vaciado inferior (*Pocketing.6*):

- a. **Estrategia de mecanizado:** Zig-zag con tres pasadas de desbaste y tres de acabado (mecanizado en tres niveles axiales con pasada de acabado en todos).
- b. **Geometría a mecanizar:** Hueco existente en la cara inferior de la pieza.
- c. **Herramienta:** Fresa periférico-frontal AM2MRD0500A060 de Mitsubishi Materials (Figura 6-34, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- d. **Parámetros de corte:** Los definidos para mecanizado de aleaciones de aluminio con la herramienta de corte elegida (Figura 6-35, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- e. **Macros:** Macros de aproximación, retirada y aclarado del usuario (6.4.1.7. *Macros en operaciones de mecanizado*).



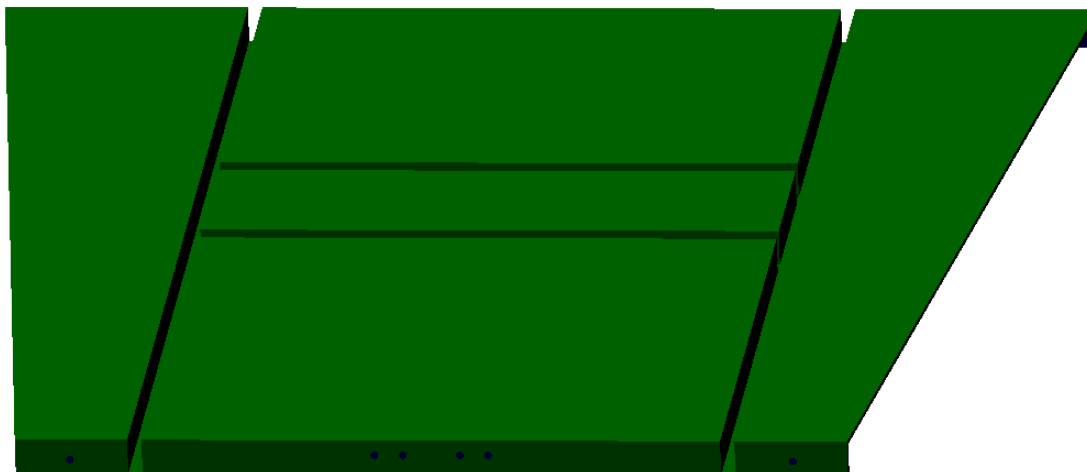


Figura 6-434. Parte 1 del soporte: Trayectoria y resultado de vaciado inferior

#### 5. Taladrado (*Drilling.1-Drilling.3*):

- a. **Estrategia de mecanizado:** Taladrado directo a 3.5mm. Transición entre agujeros a 10mm de la pieza.
- b. **Geometría a mecanizar:** Agujeros de 3.5mm.
- c. **Herramienta:** Broca A2 2297 D3.5 de UNCETA (Figuras 6-42 a 6-50, apartado **6.3.3.5 Herramientas seleccionadas**).
- d. **Parámetros de corte:** Los definidos para mecanizado de aleaciones de aluminio con la herramienta de corte elegida (Tabla 6-1, apartado **6.3.3.5 Herramientas seleccionadas**).
- e. **Macros:** Macros de aproximación, retirada y aclarado del usuario (**6.4.1.7. Macros en operaciones de mecanizado**).

Como podemos observar en el análisis del material eliminado del cajeado superior, las esquinas no quedan de acuerdo al diseño debiéndose realizar operaciones de retrabajado de esquinas para mejorar la tolerancia superficial.

#### 6.6.7.11 Soporte rudder bar: Parte 2

Se trata de una barra hueca de perfil cuadrado muy similar a las partes 3, 6 y 7 de *rudder bar*. Perfil cuadrado de 18mm, espesor 1mm y longitud 230mm. Todos los agujeros son de diámetro 5mm.

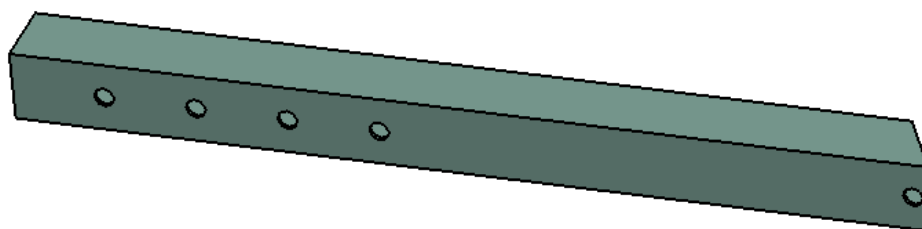


Figura 6-435. Parte 2 del soporte modelada en CATIA

Para mayor detalle ir al apartado **6.6.8.3 Rudder bar: Parte 3**. Se siguen los mismos pasos para la fabricación añadiendo el corte con ángulo 30° del extremo derecho (respecto de la vertical).

#### 6.6.7.12 Ensamblaje rudder bar y su soporte

Todas las uniones efectuadas entre las diferentes partes que constituyen el *rudder bar* y su soporte, así como las uniones entre ambos son **uniones atornilladas** (tornillos de 3.5 y 5mm con sus correspondientes arandelas y tuercas). Todos los agujeros roscados deben llevar casquillos para evitar dañar el aluminio en las operaciones de roscado/desenroscado (sobre todo aquellas susceptibles de ser manipulados con frecuencia).

### 6.6.8 Joystick

Mediante el movimiento del joystick controlamos los movimientos de cabeceo y alabeo de la aeronave. Al tirar del joystick sube el timón de profundidad y se eleva el morro del avión (si empujamos el joystick se produce el movimiento opuesto), mientras que si movemos el joystick a la derecha, el alerón derecho sube, el izquierdo baja y el avión gira hacia la derecha debido a la diferencia de sustentación provocada por la deflexión diferencial de los alerones (si lo movemos hacia la izquierda se produce el movimiento opuesto).

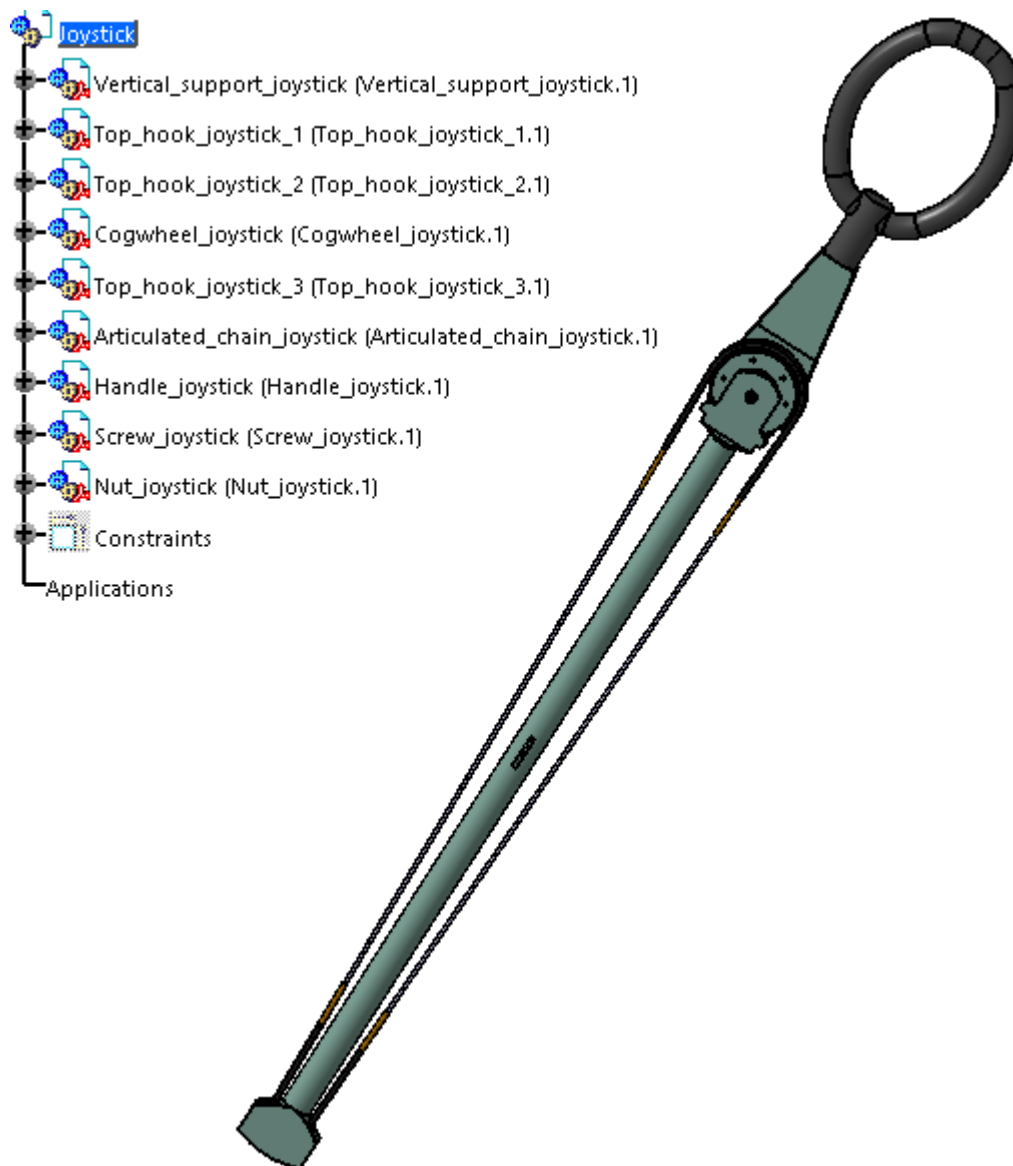


Figura 6-436. Joystick modelado en CATIA

Totalmente fabricado en aluminio a excepción del engranaje.

#### 6.6.8.1 Joystick: Soporte vertical

Está compuesto por cinco partes (dos iguales entre sí). La principal es una barra de diámetro 24.2mm y longitud 665.5mm a la que se unen el resto de componentes mediante **soldadura**.

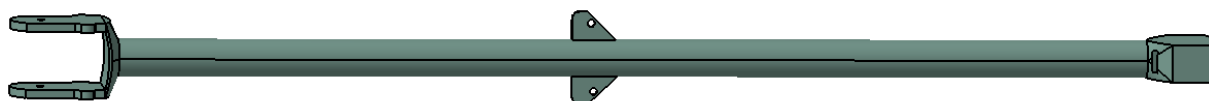


Figura 6-437. Soporte vertical modelado en CATIA

Para obtener la barra hacemos las siguientes operaciones:

1. **Laminación:** Para obtener una barra con dimensiones mayores a las máximas.
2. **Torneado:**
  - a. **Refrentado** de la superficie delantera.
  - b. **Cilindrado** de diámetro 24.2mm y profundidad 665.5mm.
  - c. **Tronzado.**

El componente situado en el extremo inferior se caracteriza por una cavidad interior donde se aloja parte de la cadena transmisora del movimiento rotatorio del mando.

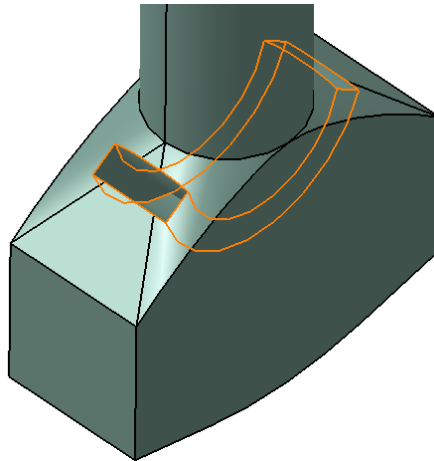


Figura 6-438. Soporte vertical: Componente inferior con detalle de la cavidad

Se trata por tanto de una pieza “de catálogo” con unas especificaciones muy concretas y que no podemos obtener a partir del mecanizado en CNC (al menos con los conocimientos y destreza que poseemos). Como alternativa para su obtención tenemos la **fundición** con un molde adecuado (siendo conscientes de que existirán alternativas más viables y/o con mejores resultados).

En el extremo superior del soporte tenemos un componente para el que tomamos una preforma de dimensiones 70 x 80 x 50mm.

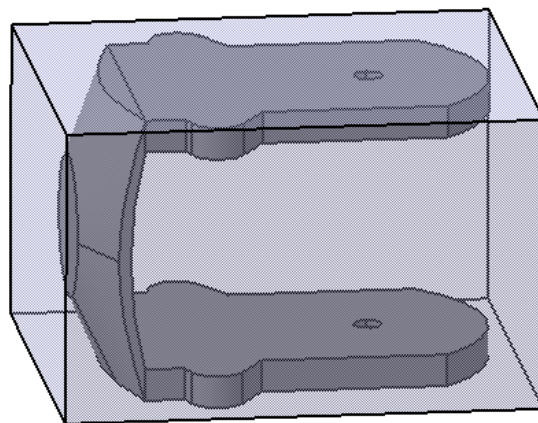


Figura 6-439. Soporte vertical: Preforma del componente superior

Su fabricación sigue las siguientes operaciones:

1. **Planeado por ambas caras (*Facing.1, Facing.2*):**
  - a. **Estrategia de mecanizado:** Ida y vuelta con una pasada de desbaste y una de acabado.
  - b. **Geometría a mecanizar:** Caras superior e inferior de la preforma.
  - c. **Herramienta:** Cabezal portacuchillas ASX400-100B10R de Mitsubishi Materials (Figura 6-28, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).

- d. **Parámetros de corte:** Los definidos para mecanizado de aleaciones de aluminio con la herramienta de corte elegida (Figura 6-29, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
  - e. **Macros:** Macros de aproximación, retirada y aclarado del usuario (6.4.1.7. *Macros en operaciones de mecanizado*).
2. **Contorneado (*Profile Contouring.1, Profile Contouring.2*):**
- a. **Estrategia de mecanizado:** Zig-zag con una pasada de desbaste y una de acabado.
  - b. **Geometría a mecanizar:** Contorno exterior de las superficies de ambos extremos.
  - c. **Herramienta:** Fresa periférico-frontal AM2MBR0100A060 de Mitsubishi Materials (Figura 6-38, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
  - d. **Parámetros de corte:** Los definidos para mecanizado de aleaciones de aluminio con la herramienta de corte elegida (Figura 6-39, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
  - e. **Macros:** Macros de aproximación, retirada y aclarado del usuario (6.4.1.7. *Macros en operaciones de mecanizado*).
3. **Vaciado (*Pocketing.1*):**
- a. **Estrategia de mecanizado:** Ida y vuelta con dos pasadas de desbaste y dos de acabado (mecanizado en dos niveles axiales).
  - b. **Geometría a mecanizar:** El siguiente cuerpo (*Insert/Body*).

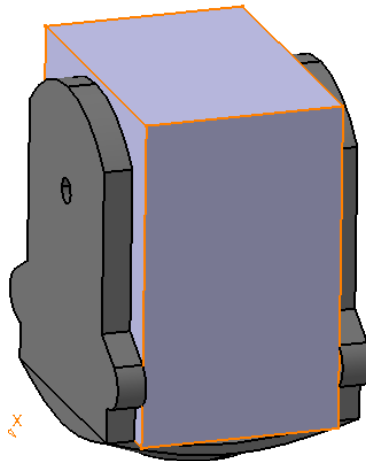


Figura 6-440. Soporte vertical: Geometría a mecanizar en vaciado del componente superior

- c. **Herramienta:** Fresa periférico-frontal VQJHVD1200 de Mitsubishi Materials (Figura 6-32, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- d. **Parámetros de corte:** Los definidos para mecanizado de aleaciones de aluminio con la herramienta de corte elegida (Figura 6-33, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- e. **Macros:** Macros de aproximación, retirada y aclarado del usuario (6.4.1.7. *Macros en operaciones de mecanizado*).



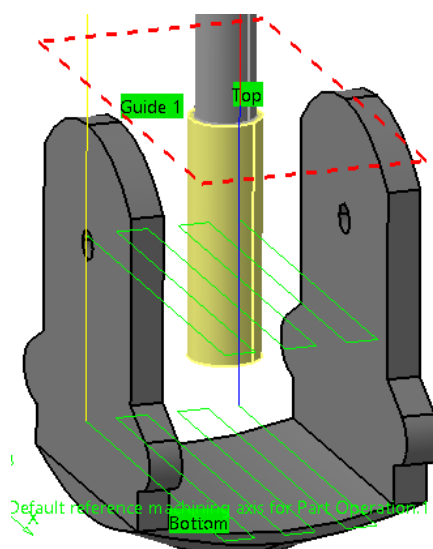


Figura 6-441. Soporte vertical: Trayectoria de vaciado del componente superior

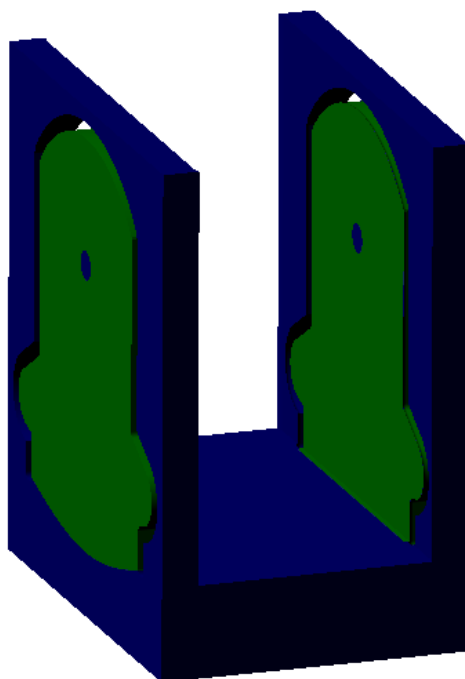


Figura 6-442. Soporte vertical: Resultado de contorneado y vaciado del componente superior

#### 4. Barrido (Sweeping.1, Sweeping.2):

- a. **Estrategia de mecanizado:** Zig-zag. Una operación por cada lado.
- b. **Geometría a mecanizar:** Todo el material restante a excepción de los taladros.
- c. **Herramienta:** Fresa periférico-frontal AM2MBR0200A060 de Mitsubishi Materials (Figura 6-36, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- d. **Parámetros de corte:** Los definidos para mecanizado de aleaciones de aluminio con la herramienta de corte elegida (Figura 6-37, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- e. **Macros:** Macros por defecto de CATIA.



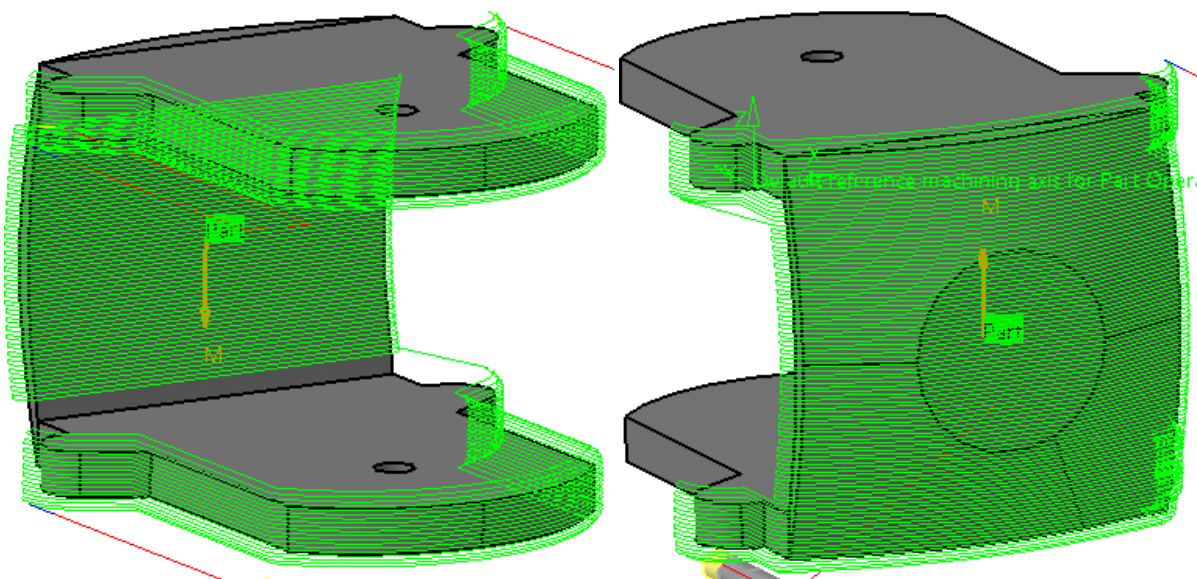


Figura 6-443. Soporte vertical: Trayectoria de barrido del componente superior

#### 5. Taladrado (Drilling.1-Drilling.4):

- a. **Estrategia de mecanizado:** Secuencia de taladrado 3.1-5mm.
- b. **Geometría a mecanizar:** Agujeros de 5mm.
- c. **Herramienta:** Brocas A2 2297 D3.1 y A2 2060 D5 de UNCETA (Figuras 6-42 a 6-50, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- d. **Parámetros de corte:** Los definidos para mecanizado de aleaciones de aluminio con la herramienta de corte elegida (Tabla 6-1, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- f. **Macros:** Macros de aproximación, retirada y aclarado del usuario (6.4.1.7. *Macros en operaciones de mecanizado*).

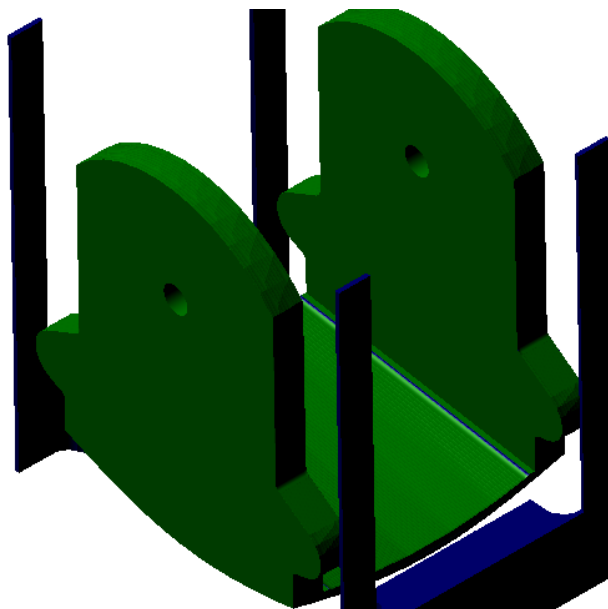


Figura 6-444. Soporte vertical: Resultado de barrido y taladrado del componente superior

Por último describimos la fabricación del componente soldado aproximadamente hacia la mitad de la barra. La preforma es de dimensiones 33 x 21 x 6mm.

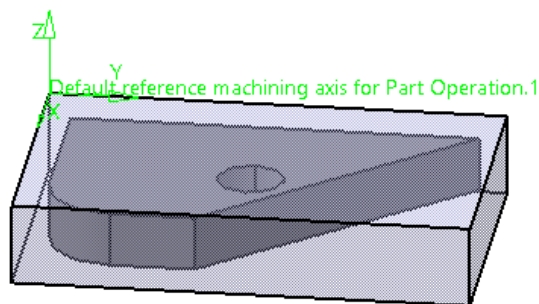


Figura 6-445. Soporte vertical: Preforma del componente medio

**1. Planeado por ambas caras (*Facing.1, Facing.2*):**

- a. **Estrategia de mecanizado:** Ida y vuelta con una pasada de desbaste y una de acabado.
- b. **Geometría a mecanizar:** Caras superior e inferior de la preforma.
- c. **Herramienta:** Cabezal portacuchillas ASX400-100B10R de Mitsubishi Materials (Figura 6-28, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- d. **Parámetros de corte:** Los definidos para mecanizado de aleaciones de aluminio con la herramienta de corte elegida (Figura 6-29, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- e. **Macros:** Macros de aproximación, retirada y aclarado del usuario (6.4.1.7. *Macros en operaciones de mecanizado*).

**2. Contorneado (*Profile Contouring.1*):**

- a. **Estrategia de mecanizado:** Zig-zag con una pasada de desbaste y una de acabado.
- b. **Geometría a mecanizar:** Contorno exterior de la pieza.
- c. **Herramienta:** Fresa periférico-frontal AM2MBR0200A060 de Mitsubishi Materials (Figura 6-36, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- d. **Parámetros de corte:** Los definidos para mecanizado de aleaciones de aluminio con la herramienta de corte elegida (Figura 6-37, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- e. **Macros:** Macros de aproximación, retirada y aclarado del usuario (6.4.1.7. *Macros en operaciones de mecanizado*).

**3. Taladrado (*Drilling.1, Drilling.2*):**

- a. **Estrategia de mecanizado:** Secuencia de taladrado 3.1-5mm.
- b. **Geometría a mecanizar:** Agujero de 5mm.
- c. **Herramienta:** Brocas A2 2297 D3.1 y A2 2060 D5 de UNCETA (Figuras 6-42 a 6-50, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- d. **Parámetros de corte:** Los definidos para mecanizado de aleaciones de aluminio con la herramienta de corte elegida (Tabla 6-1, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- e. **Macros:** Macros de aproximación, retirada y aclarado del usuario (6.4.1.7. *Macros en operaciones de mecanizado*).

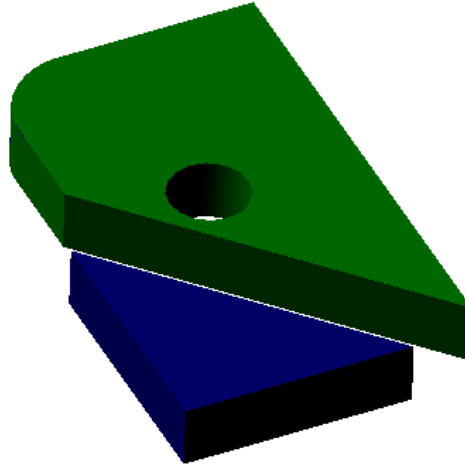


Figura 6-446. Soporte vertical: Resultado final del componente medio

Una vez obtenidas las cinco partes que componen el soporte vertical, procedemos con las operaciones de **soldadura** para obtenerlo.

#### 6.6.8.2 Joystick: Sujeción 1

No es más que un disco de aluminio de diámetro 40mm y espesor 8.1mm, con un taladro en el centro de diámetro 5mm. Podríamos obtenerlo mediante torneado y taladrado. Sin embargo, al tener un espesor pequeño nos interesa fabricar esta pieza en la máquina CNC a partir de un trozo de metal de 42 x 42 x 10mm.

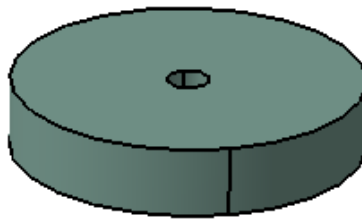


Figura 6-447. Sujeción 1 modelada en CATIA

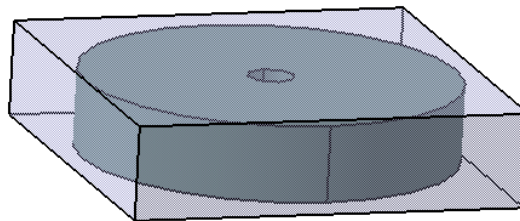


Figura 6-448. Sujeción 1: Preforma

Secuencia de mecanizado:

##### 1. Planeado por ambas caras (*Facing.1, Facing.2*):

- a. **Estrategia de mecanizado:** Ida y vuelta con una pasada de desbaste y una de acabado.
- b. **Geometría a mecanizar:** Caras superior e inferior de la preforma.
- c. **Herramienta:** Cabezal portacuchillas ASX400-100B10R de Mitsubishi Materials (Figura 6-28, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- d. **Parámetros de corte:** Los definidos para mecanizado de aleaciones de aluminio con la herramienta de corte elegida (Figura 6-29, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- e. **Macros:** Macros de aproximación, retirada y aclarado del usuario (6.4.1.7. *Macros en operaciones de mecanizado*).

## 2. Contorneado (*Profile Contouring.1*):

- a. **Estrategia de mecanizado:** Zig-zag con dos pasadas de desbaste y dos de acabado (mecanizado en dos niveles axiales).
- b. **Geometría a mecanizar:** Contorno exterior de la pieza.
- c. **Herramienta:** Fresa periférico-frontal AM2MRD0500A060 de Mitsubishi Materials (Figura 6-34, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- d. **Parámetros de corte:** Los definidos para mecanizado de aleaciones de aluminio con la herramienta de corte elegida (Figura 6-35, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- e. **Macros:** Macros de aproximación, retirada y aclarado del usuario (6.4.1.7. *Macros en operaciones de mecanizado*).

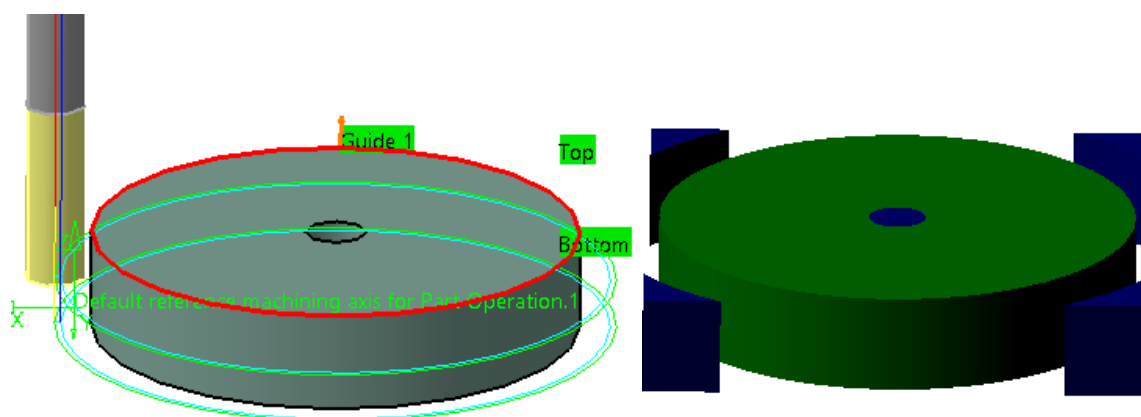


Figura 6-449. Sujeción 1: Trayectoria y resultado de contorneado

## 3. Taladrado (*Drilling.1-Drilling.2*):

- a. **Estrategia de mecanizado:** Secuencia de taladrado 3.1-5mm.
- b. **Geometría a mecanizar:** Agujero de diámetro 5mm.
- c. **Herramienta:** Brocas A2 2297 D3.1 y A2 2060 D5 de UNCETA (Figuras 6-42 a 6-50, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- d. **Parámetros de corte:** Los definidos para mecanizado de aleaciones de aluminio con la herramienta de corte elegida (Tabla 6-1, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- e. **Macros:** Macros de aproximación, retirada y aclarado del usuario (6.4.1.7. *Macros en operaciones de mecanizado*).

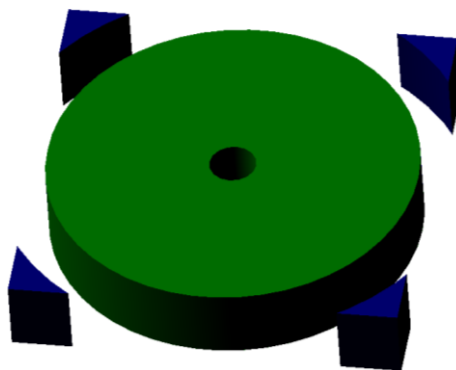


Figura 6-450. Sujeción1: Resultado de taladrado

### 6.6.8.3 Joystick: Sujeción 2

Se trata de un disco de diámetro 70mm y espesor 5.4mm, con un taladro central de 5mm y seis periféricos de 3.5mm. Por tanto, procedemos igual que para la sujeción 1 cambiando la secuencia de taladrado a 3.5-5mm.

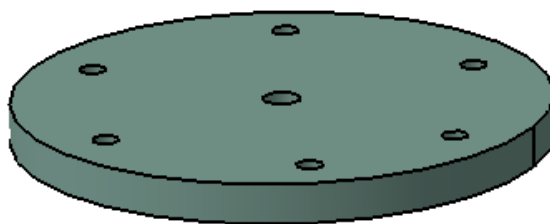


Figura 6-451. Sujeción 2 modelada en CATIA

Para mayor detalle de las operaciones realizadas véase el apartado **6.6.9.2 Sujeción 1**.

### 6.6.8.4 Joystick: Pieza móvil superior

Situada en la parte superior del soporte vertical, se mueve solidariamente con el mango que utiliza el piloto para controlar el movimiento de la aeronave. El movimiento de traslación hacia delante o hacia detrás lleva consigo el consecuente movimiento del soporte vertical que controla el cabeceo, mientras que el movimiento rotatorio de esta pieza acciona un engranaje que transmite dicho movimiento para controlar el balanceo.

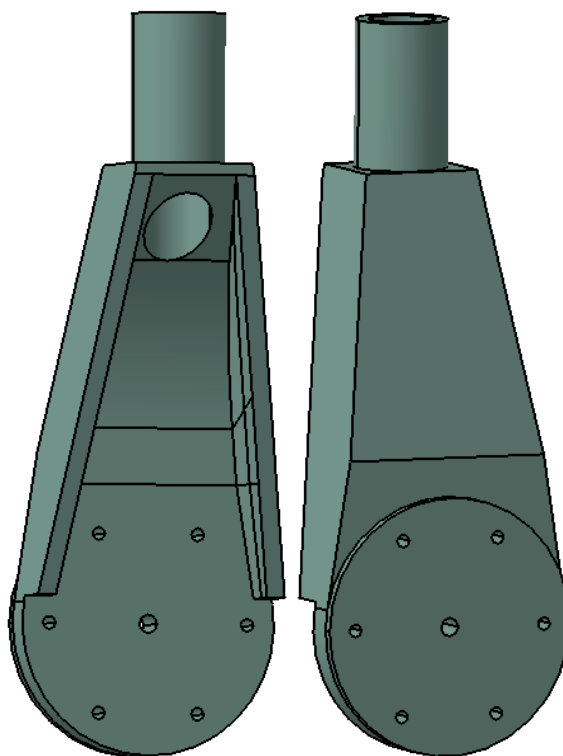


Figura 6-452. Pieza móvil superior modelada en CATIA

A continuación se enumeran las operaciones seguidas para la fabricación de esta pieza:

1. **Laminación:** Con este proceso obtenemos una barra de dimensiones mayores a las máximas (por ejemplo, de diámetro 100mm y longitud 270mm).

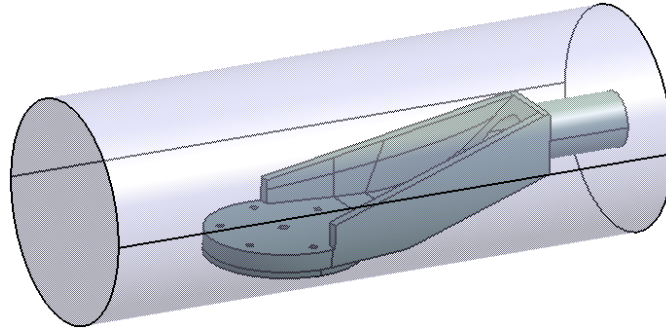


Figura 6-453. Pieza móvil superior: Resultado de laminación (preforma 1)

## 2. Torneado:

- a. **Refrentado** de la superficie delantera (eliminando 2mm de material).
- b. **Cilindrado** de diámetro 25mm y profundidad 40mm.
- c. **Taladrado** de diámetro 16mm y profundidad 200mm.
- d. **Escariado** del agujero anterior para obtener un diámetro de 18mm.
- e. **Tronzado** para obtener una longitud total de 200mm.

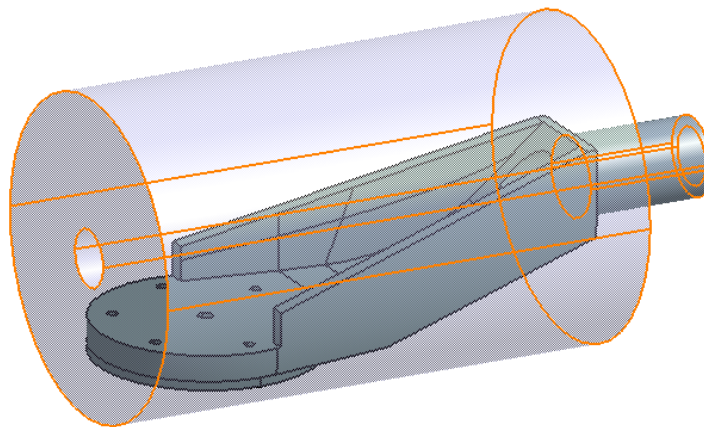


Figura 6-454. Pieza móvil superior: Resultado de torneado (preforma 2)

## 3. Desbaste (*Roughing.1, Roughing.2*):

- a. **Estrategia de mecanizado:** Por área, parte exterior y huecos. Trayectoria en zig-zag. Una operación por la cara superior y otra por la inferior (tal y como queda dispuesta la pieza en las imágenes).
- b. **Geometría a mecanizar:** Todo el material a eliminar de la preforma 2, es decir, el cilindro de diámetro 100mm.
- c. **Herramienta:** Fresa periférico-frontal VQJHVD1200 de Mitsubishi Materials (Figura 6-32, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- d. **Parámetros de corte:** Los definidos para mecanizado de aleaciones de aluminio con la herramienta de corte elegida (Figura 6-33, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- e. **Macros:** Macros por defecto definidas en CATIA.



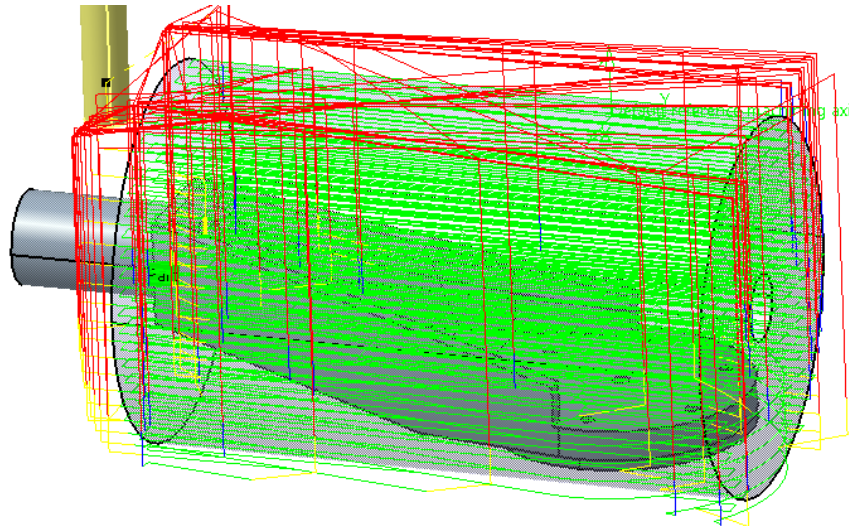


Figura 6-455. Pieza móvil superior: Trayectoria de desbaste 1

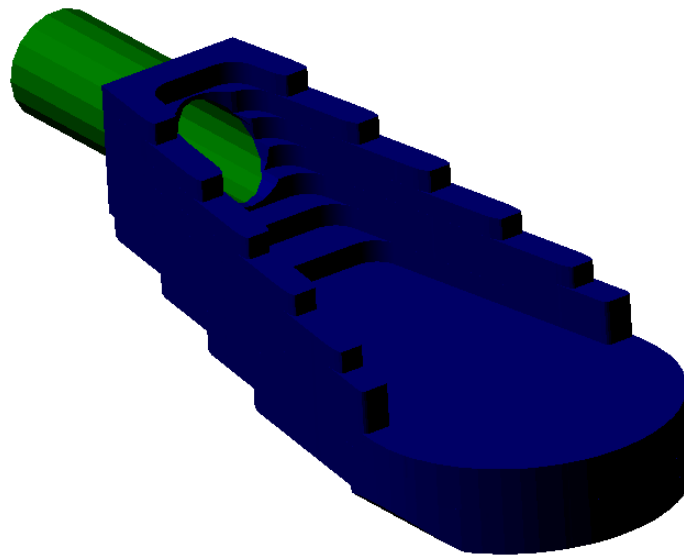


Figura 6-456. Pieza móvil superior: Resultado de desbaste

#### 4. Barrido (*Sweeping.1-Sweeping.5*):

- a. **Estrategia de mecanizado:** Zig-zag. Una operación por cada cara (excepto la contigua al cilindro ya finalizado).
- b. **Geometría a mecanizar:** Todo el material restante.
- c. **Herramienta:** Fresa periférico-frontal AM2MBR0200A060 de Mitsubishi Materials (Figura 6-36, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- d. **Parámetros de corte:** Los definidos para mecanizado de aleaciones de aluminio con la herramienta de corte elegida (Figura 6-37, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- e. **Macros:** Macros por defecto definidas en CATIA.

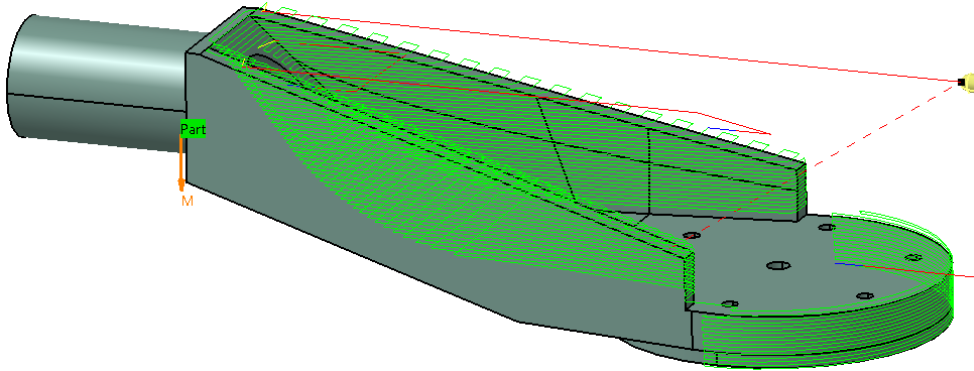


Figura 6-457. Pieza móvil superior: Trayectoria de barrido 5

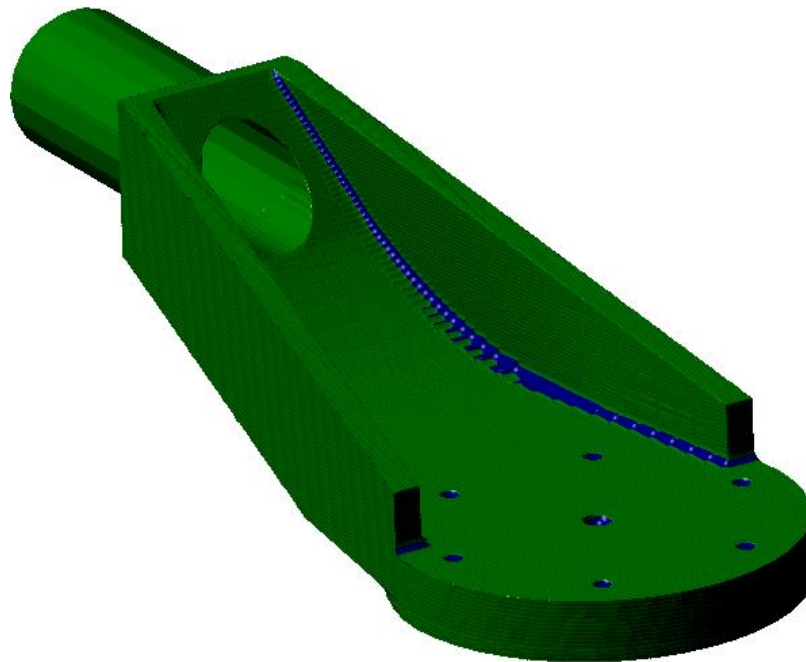


Figura 6-458. Pieza móvil superior: Resultado de barrido

Como podemos observar, el mecanizado de las esquinas se puede mejorar mediante operaciones adicionales y/o con el uso de herramientas de corte más adecuadas.

#### 5. Taladrado (*Drilling.1, Drilling.2*):

- a. **Estrategia de mecanizado:** Taladrado directo a 3.5mm para agujeros de diámetro 3.5mm y secuencia de taladrado 3.5-5mm para el agujero de 5mm. Transición entre agujeros a 10mm de la pieza.
- b. **Geometría a mecanizar:** Agujeros de 3.5 y 5mm.
- c. **Herramienta:** Brocas A2 2297 D3.5 y A2 2060 D5 de UNCETA (Figuras 6-42 a 6-50, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- d. **Parámetros de corte:** Los definidos para mecanizado de aleaciones de aluminio con la herramienta de corte elegida (Tabla 6-1, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- e. **Macros:** Macros de aproximación, retirada y aclarado del usuario (6.4.1.7. *Macros en operaciones de mecanizado*).



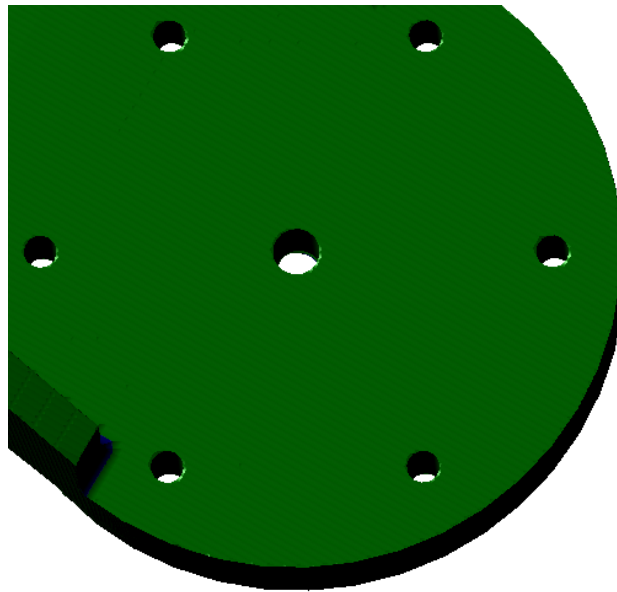


Figura 6-459. Pieza móvil superior: Resultado de taladrado en detalle

#### 6.6.8.5 Joystick: Engranaje (Rueda dentada y cadena de rodillos)

El engranaje está compuesto por una rueda de veintinueve dientes y una cadena de eslabones articulados que transmiten el movimiento rotatorio del joystick al sistema encargado del movimiento de los alerones.

La rueda tiene diámetro interior 70mm y exterior 75mm y un agujero en el centro de diámetro 5mm.

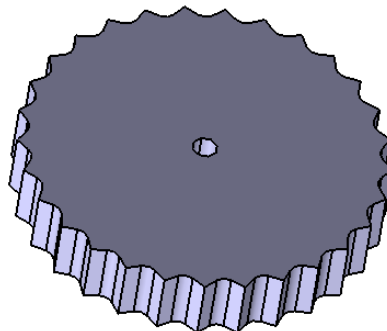


Figura 6-460. Engranaje: Rueda dentada modelada en CATIA

La cadena por su parte tiene una longitud total de 1609.7mm, siendo la longitud de la zona de eslabones superior de 284.1mm y la inferior de 195mm (en el modelo de CATIA no se han modelado los eslabones).

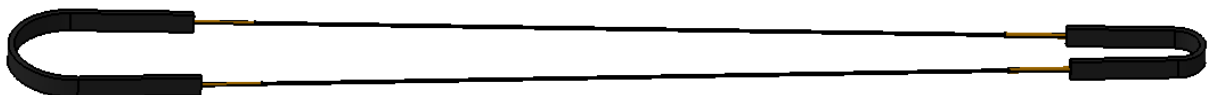


Figura 6-461. Engranaje: Cadena articulada modelada en CATIA



Figura 6-462. Engranaje: Eslabones de una cadena de rodillos

Ambos componentes se compran a proveedor no siendo fabricados en nuestro entorno de trabajo (se trata de componentes comerciales).

#### 6.6.8.6 Joystick: Mango/tirador

Es la parte que utiliza el piloto para accionar interactuar con el joystick y así provocar los movimientos del avión. Se divide en dos partes:

- **Tubo inferior:** Diámetro exterior 29mm, altura 60mm, diámetro interior 25mm y profundidad del agujero 58mm. Se obtiene mediante las siguientes operaciones: **laminación** y **torneado** (refrentado, cilindrado, taladrado, escariado y tronzado).
- **Tubo perimetral:** Diámetro 20mm y espesor 1mm. Se obtiene mediante **laminación**, **torneado** (refrentado, cilindrado, taladrado, escariado y tronzado) y **doblado** de tubos. La forma del tubo se obtiene tomando como referencia una elipse de semieje mayor 170mm y semieje menor 130mm.

Ambas partes se unen mediante soldadura y se cubren con goma, cuero o similar.



Figura 6-463. Mango modelado en CATIA

En este caso al mango le falta el botón utilizado para disparar, pero no es objeto de nuestro proyecto, ya que se busca la restauración de la aeronave sin los sistemas de armamento.

#### 6.6.8.7 Ensamblaje joystick

La cadena se introduce en el orificio del componente inferior del soporte vertical, se fijan las sujeciones 1 y 2, la rueda dentada y la pieza móvil superior a la estructura del soporte mediante **unión atornillada** (tornillo de 5 x 55mm con su correspondiente arandela y tuerca), se tensa la cadena sobre la rueda dentada y posteriormente se cierra.

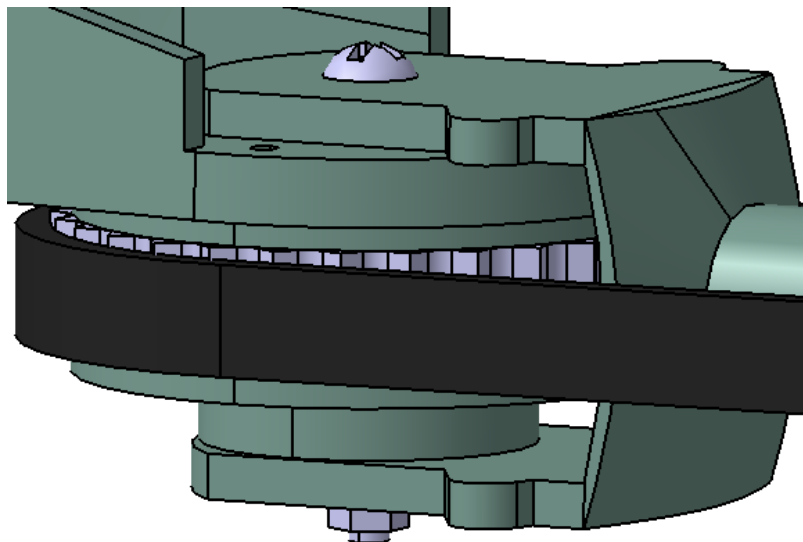


Figura 6-464. Joystick: Unión atornillada

Por último, se efectúa la unión entre la pieza móvil superior y el mango/tirador por **presión y apriete** (unión mecánica).



Figura 6-465. Joystick: Unión mecánica

Nota: el modelado de tornillo y tuerca es una ampliación llevada a cabo como parte del TFM.

#### 6.6.9 Cubierta fuselaje

La cubierta del fuselaje se obtiene mediante **laminación, corte, estirado y conformado rotativo** de chapa de espesor variable, entre 0.711mm (la mayoría del fuselaje), 0.914mm (la parte de la cabina y algunos compartimentos) y 3.66mm (tanque de combustible). Para las operaciones de estirado y conformado rotativo se dispone de útiles (moldes, matrices...) especialmente diseñados y certificados por la Autoridad de Aviación Civil correspondiente.

Entre las especificaciones de diseño de la cubierta está encontrar un compromiso entre la protección de los sistemas del avión y el piloto, y minimizar la resistencia aerodinámica. Al tratarse de un caza de guerra esto supone encontrar una solución que haga la protección ante artillería compatible con la máxima velocidad posible.

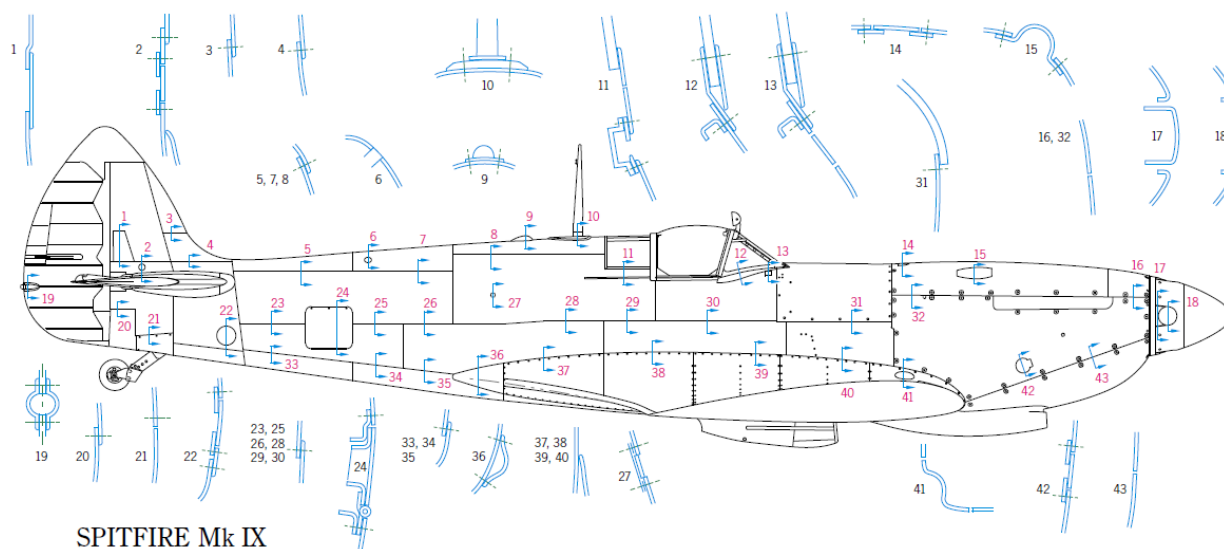


Figura 6-466. Disposición de las pieles del Spitfire Mk IX por un lateral

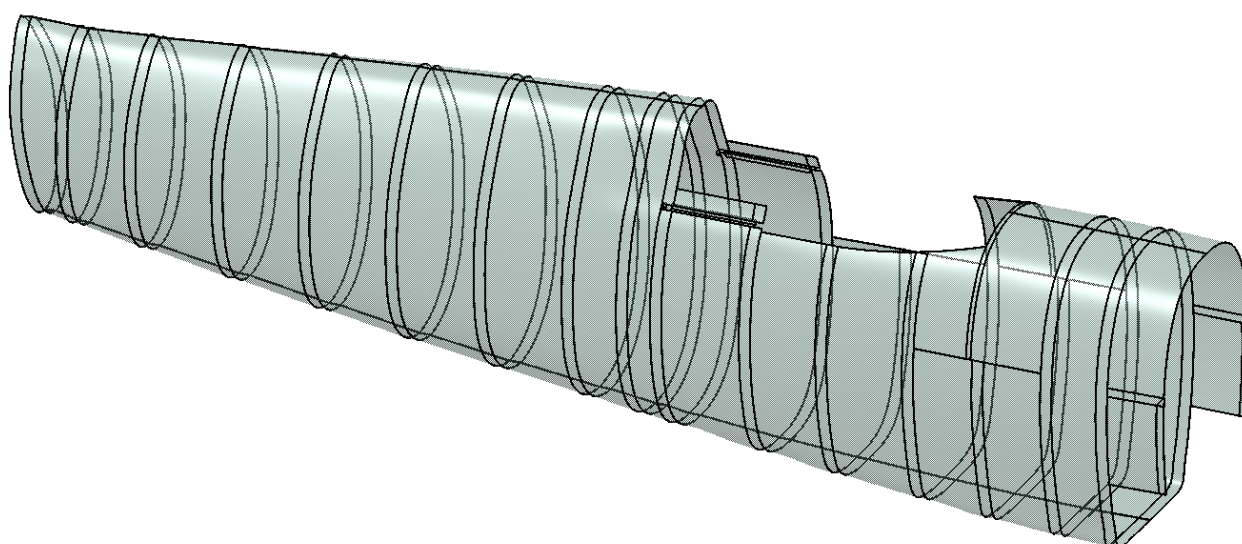


Figura 6-467. Cubierta del fuselaje modelada en CATIA

Centrándonos sólo en el fuselaje, podemos observar que existen diferencias apreciables entre la cubierta real y la modelada en CATIA. Esto se debe a la prioridad por agilizar el proceso de modelado, donde se colocaron las pieles entre cuadernas sucesivas, obviando puertas y compartimentos, así como la unión con larguerillos y cuadernas a través de remachado (remaches de diámetro 3.18mm y diámetro de la cabeza 5.84mm).

### 6.6.10 Ensamblaje del fuselaje

Para finalizar el fuselaje necesitamos hacer uso de un útil de posicionamiento acorde a nuestro modelo concreto de Spitfire, es decir, el Spitfire Mk IX. En él situaremos todos los componentes cuya fabricación hemos explicado previamente, o lo que es lo mismo, todas las cuadernas, largueros, larguerillos y pieles que en conjunto constituyen el fuselaje de la aeronave.

Este útil está construido de manera que todas las medidas de posicionamiento son exactas, así que iremos colocando los componentes según nos marca el útil en cuestión. En primer lugar **atornillamos** en sus respectivos puntos de cogida la cuaderna 5, a la que siguen los largueros de referencia inferiores y los largueros de referencia laterales. Si los largueros son los originales, tendrán los taladros correspondientes al posicionamiento del resto de cuadernas, por lo que situar todas las que siguen a la 5 será más fácil. Si por el contrario los largueros son nuevos, previamente a la colocación de las cuadernas, deberán marcarse y realizarse los mencionados taladros tanto en los largueros como en las cuadernas (**taladrado** más **escariado**). La unión entre cuadernas y largueros se realiza mediante escuadras y remaches de 2.38mm y 3.5mm.

A continuación se muestra con imágenes la secuencia que debemos seguir para el taladrado de largueros y cuadernas:

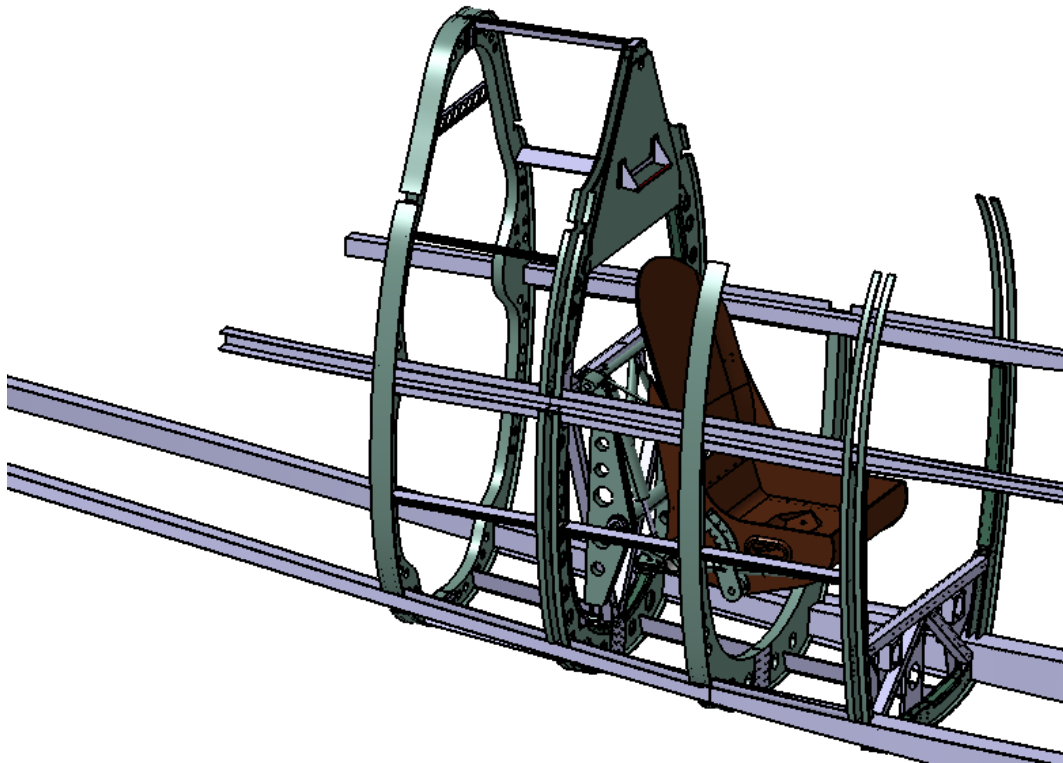


Figura 6-468. Colocación sucesiva de cuadernas

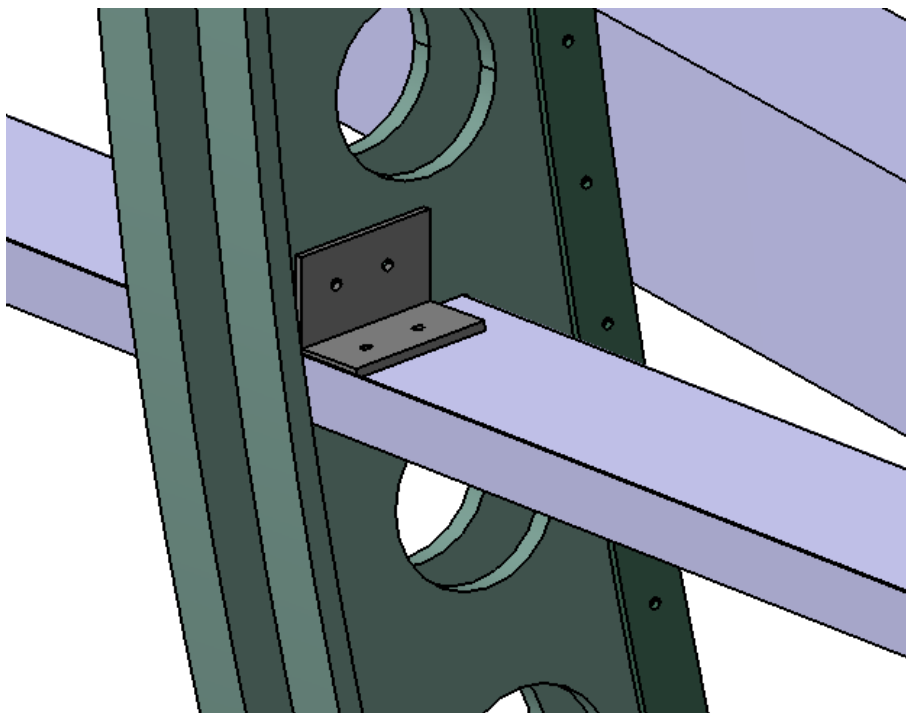


Figura 6-469. Marcado de posición de taladros con las escuadras de unión

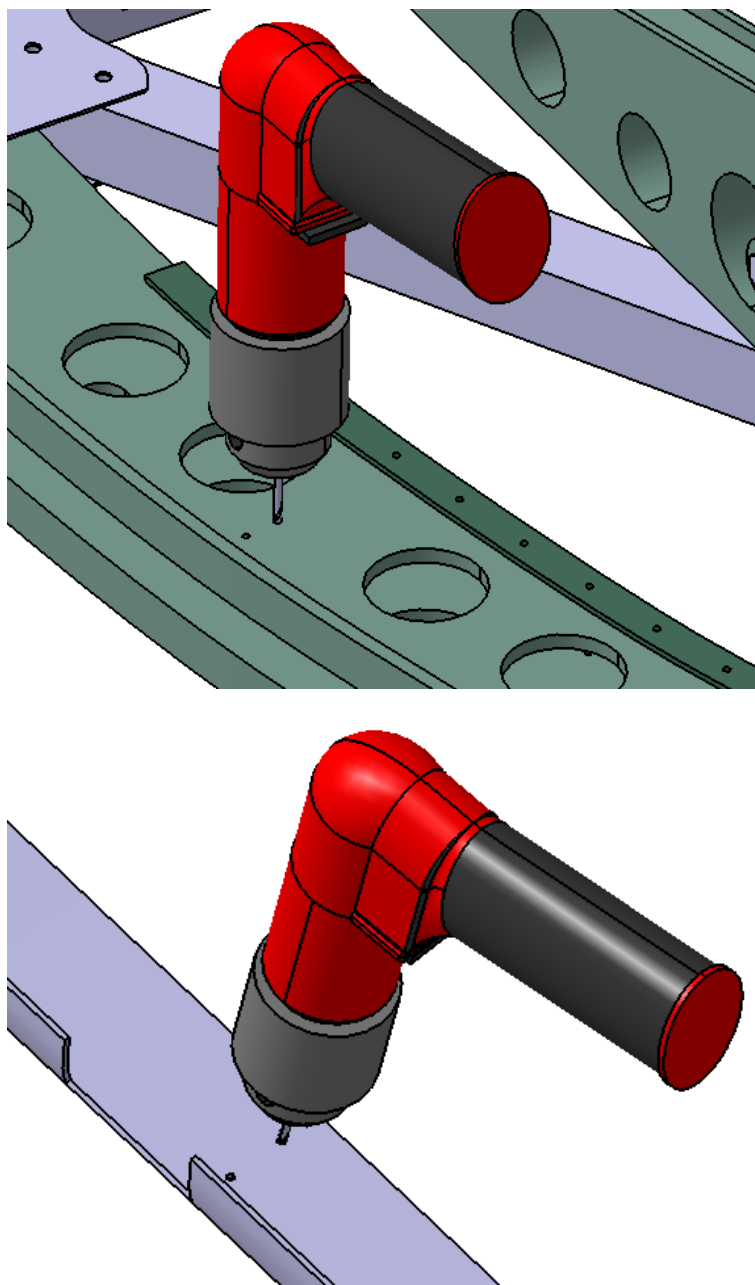


Figura 6-470. Taladrado de cuadernas y largueros

Una vez hecho esto, se retiran todos los elementos para eliminar las virutas de metal fruto de las operaciones realizadas, se pintan las cuadernas y largueros y se recubren las superficies de contacto con un compuesto de unión (JC5A<sup>22</sup>) que las protege de la corrosión y el desgaste. Seguidamente, se vuelven a montar las cuadernas y largueros y se procede al **remachado** de estas estructuras, remachándose también en su posición los largueros de referencia superiores.

<sup>22</sup> Producto inhibidor de la corrosión, con consistencia de pasta y que se aplica fácilmente con brocha, rodillo o espátula.



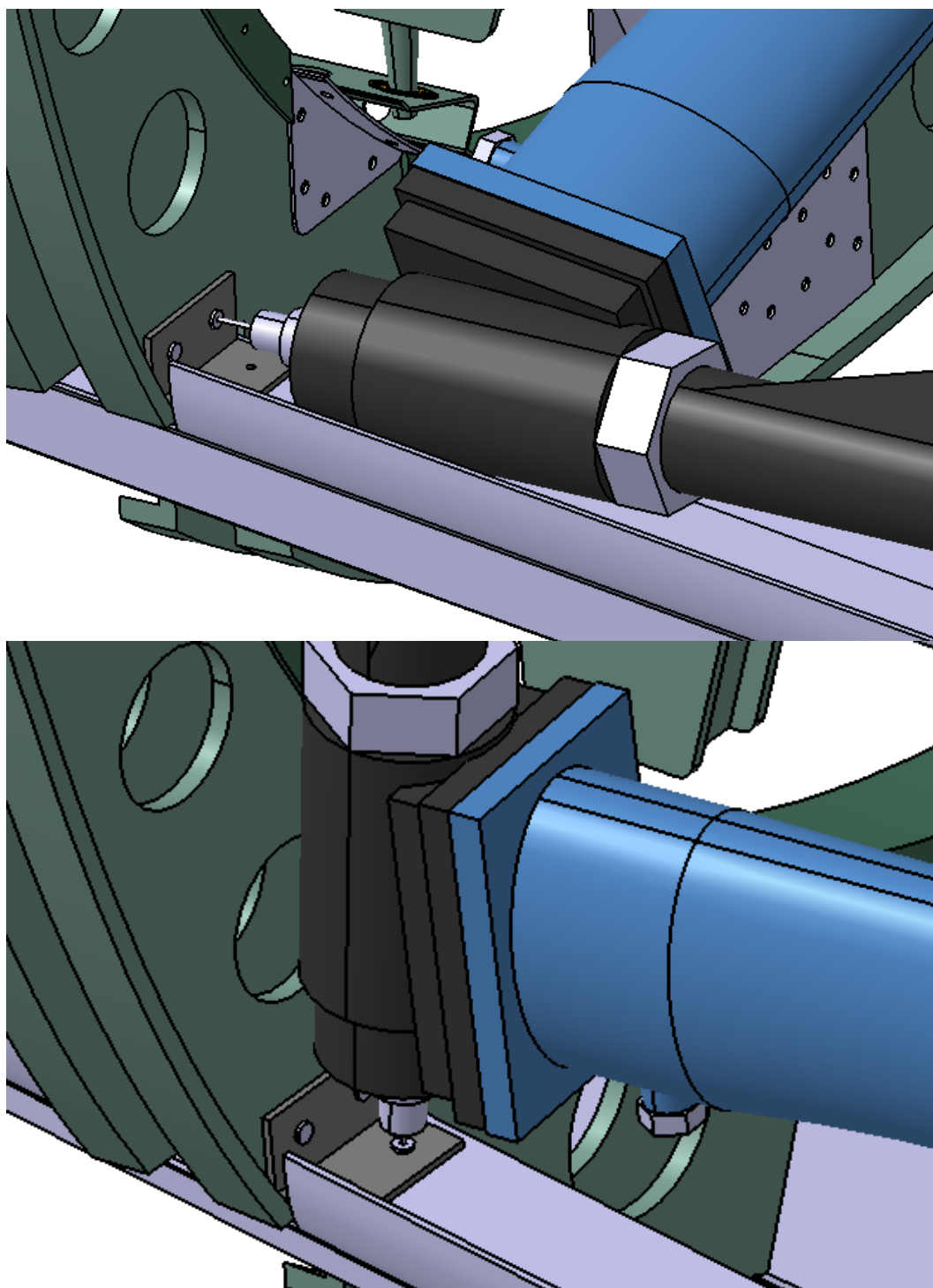


Figura 6-471. Remachado de escuadras de unión entre cuadernas y largueros

A continuación se procede a la fijación de los larguerillos laterales, situados entre las cuadernas formando una estructura esquelética que sirve de soporte en la fijación de las pieles. Nuevamente, el hecho de que estos larguerillos sean nuevos o no, jugará un papel esencial en las operaciones de **taladrado** y **escariado**, posicionamiento (**pinzado**) y posterior **remachado**. Se usan escuadras y remaches de 2.38mm para efectuar estas uniones.

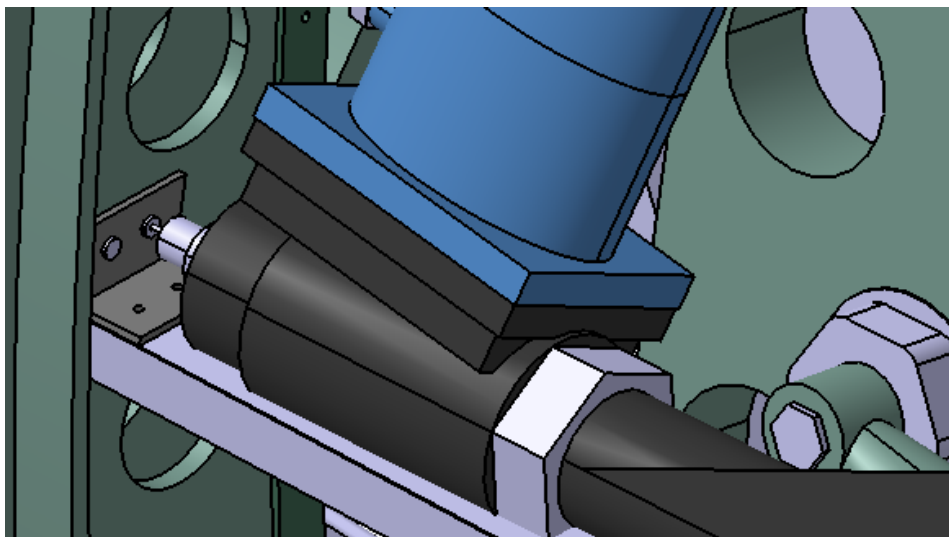


Figura 6-472. Remachado escuadra de unión entre cuadernas y larguerillos

Si tuviésemos problemas a la hora de posicionar la remachadora debido a colisión con el avión, utilizamos prolongadores/codos que nos permiten remachar en zonas de difícil acceso:



Figura 6-473. Prolongador/codo para remachadora de remaches ciegos

En el caso de las pieles se recomienda la fabricación de nuevos ejemplares y usar las originales, siempre y cuando su condición no sea muy mala, como plantillas de taladrado. Sin embargo, contando con el caso más desfavorable, la forma de proceder sería:

1. Colocar las pieles sobre las cuadernas.

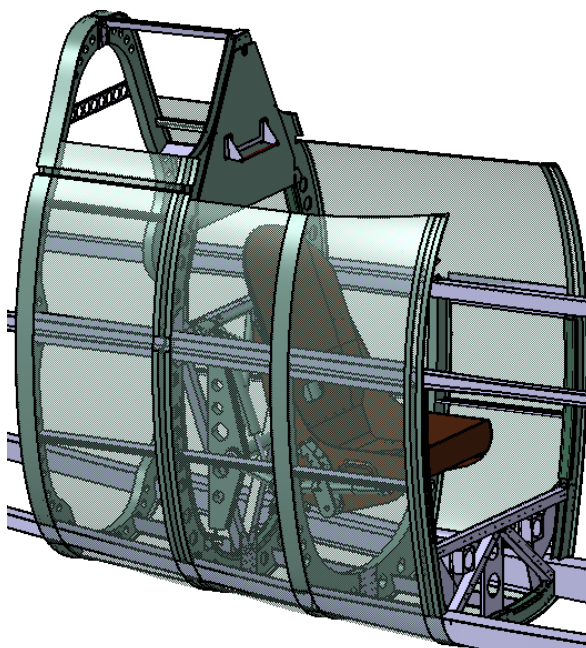


Figura 6-474. Pieles sobre el tramo 9-12



2. Realizar los correspondientes **taladros** en cuaderna y pieles de diámetro 3.18mm (secuencia 2.5-3.1mm más **escariado**), situando éstas en su posición correcta.

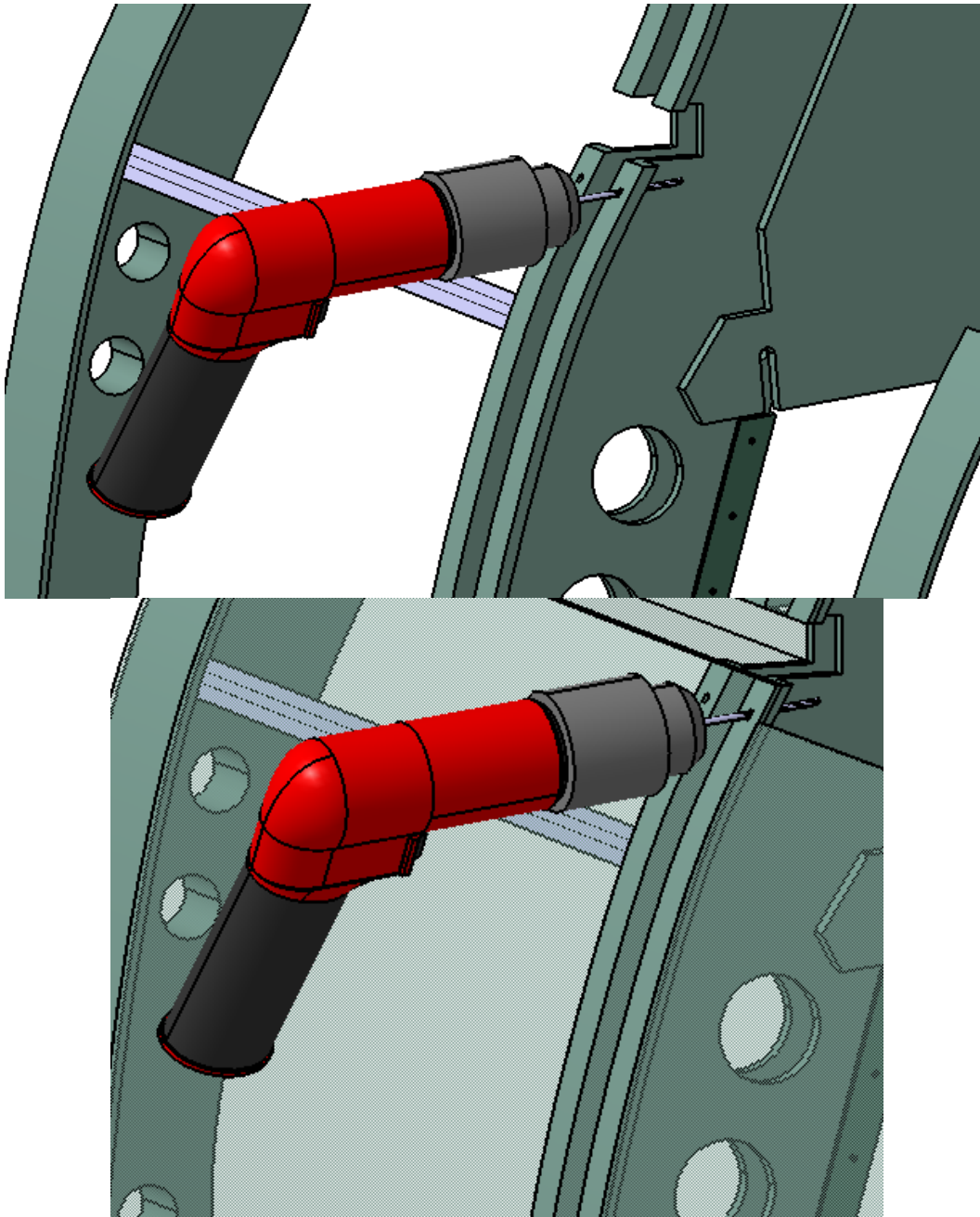


Figura 6-475. Taladrado de cuadernas y pieles

3. **Pinzar** las uniones piel-cuaderna con clecos a lo largo de todo el contorno de las cuadernas.

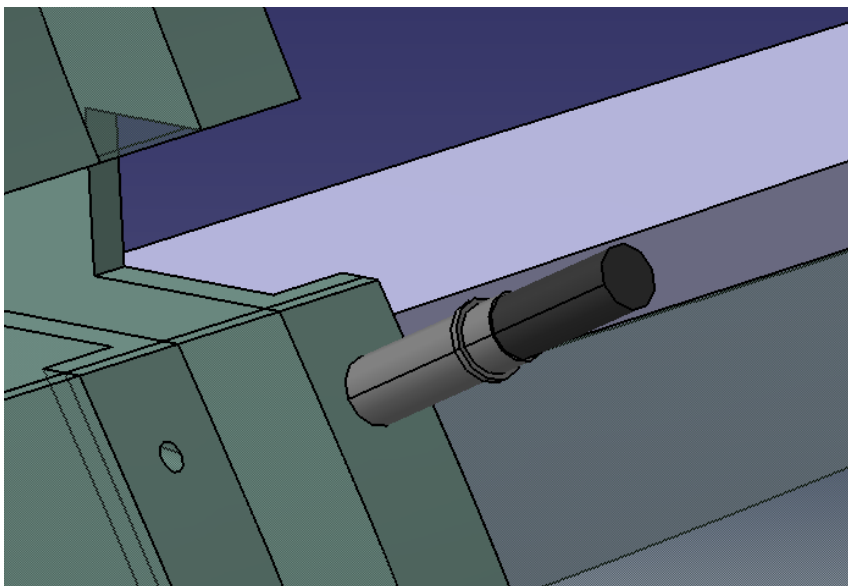


Figura 6-476. Unión pinzada con cleco

4. **Taladrar** pieles, largueros y larguerillos en los puntos de unión, de diámetro 3.18mm (secuencia 2.5-3.1mm más **escariado**).

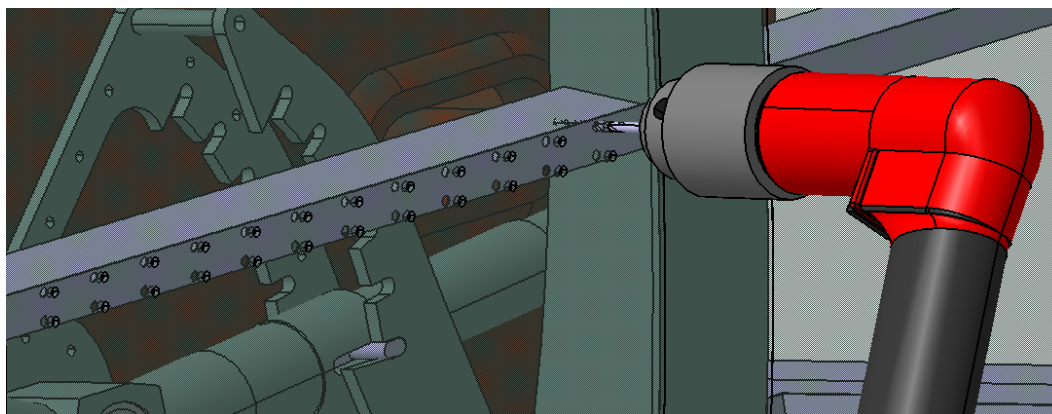


Figura 6-477. Taladrado de pieles y larguerillos

5. Eliminar los posibles bordes afilados alrededor de los agujeros (**desbabar**).
6. **Avellanar** los agujeros de las pieles, en caso de que sea necesario, para que el remache quede a ras de la superficie (normalmente a 90, 100 o 120°). Esta operación se realiza mediante el uso de reguladores micrométricos, que se montan en los taladros utilizados.



Figura 6-478. Avellanador roscado y cuerpo micrométrico

6. Alternativa: Si la chapa es muy fina y se puede poner en peligro su integridad a la hora de avellanar, la operación se realizará a mano o a máquina mediante herramientas de estampación. Consiste básicamente en apretar un macho sobre una hembra, dando una determinada forma a la chapa.

El siguiente paso será pintar los revestimientos, aplicar el compuesto de unión en las superficies de contacto y colocar los elementos en su posición final mediante el uso de clecos (**pinzado**). Una vez hecho esto, podemos

comenzar con las operaciones de **remachado indirecto** que nos ocuparán durante varios días.

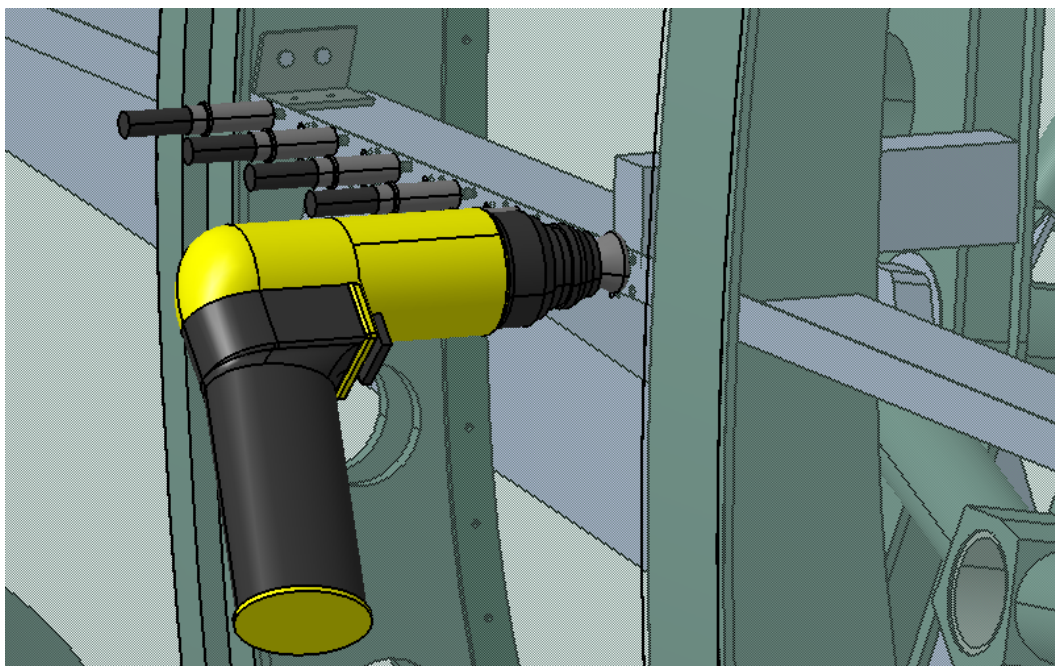


Figura 6-479. Remachado indirecto pieles

Es importante mencionar que previamente al remachado de las pieles, será necesario montar algunos circuitos eléctricos de la aeronave, determinados componentes del sistema hidráulico y sujeciones y guías de montajes posteriores.

Nota: De cara a ilustrar el proceso de ensamblaje seguido en el fuselaje, nos hemos centrado en una parte del fuselaje, concretamente entre las cuadernas 9 y 12. El modelado de escuadras, remaches y pinzas es una ampliación respecto del TFG llevada a cabo en el TFM.

#### 6.6.10.1 Ensamblaje fuselaje: Máquinas y herramientas utilizadas

Véase apartados 6.3.4 *Máquinas* y 6.3.5.5 *Herramientas seleccionadas*.

- Taladro tipo pistola.
  - Broca UNCETA A2 2297 D2.3.
  - Broca UNCETA A2 2297 D2.5.
  - Broca UNCETA A2 2297 D3.1.
  - Escariador UNCETA A6 6260 D2.3.
  - Escariador UNCETA A6 6260 D3.1.
  - Regulador micrométrico para la operación de avellanado.
- Remachadora tipo pistola.
  - Buterola adecuada para el remache de diámetro 3.18mm.
  - Sufridera o entibe adecuado para cada posición de remachado.
- Remachadora neumática para remaches ciegos.
  - Boquilla adecuada para los remaches ciegos de 2.38 y 3.5mm.



## 6.7 Cowlings

La palabra *cowlings* se define en inglés como la cubierta del motor de un determinado vehículo. Por tanto, hace referencia a las pieles de aluminio que recubren el compartimento donde se ubica el motor Rolls-Royce Merlin.

Además, para ser consistentes con la división por módulos realizada en el libro de Paul H. Monforton, tomamos el sistema propulsor como parte de este conjunto.



Figura 6-480. *Cowlings* del Spitfire Mk IX

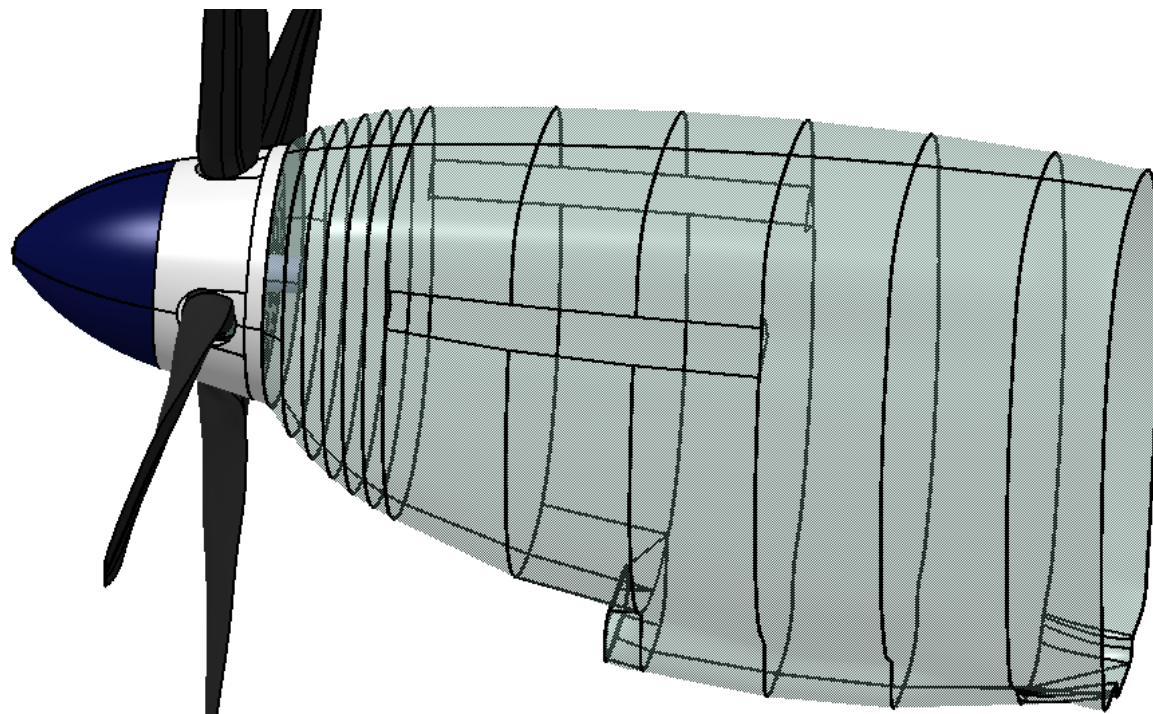


Figura 6-481. *Cowlings* modelado en CATIA

No obstante, queda fuera de nuestro proyecto el portador de motor, una estructura de barras y perfiles unida a la cuaderna 5 y destinada a alojar el motor y soportar su peso, que sirve de sujeción para la cubierta exterior. Esto ocurre fundamentalmente por dos motivos:

- No haber tenido en cuenta el modelado del sistema motor en el trabajo que sirve de base para la realización del TFM.

- No disponer de planos que sirviesen de guía en el proceso de modelado previo.

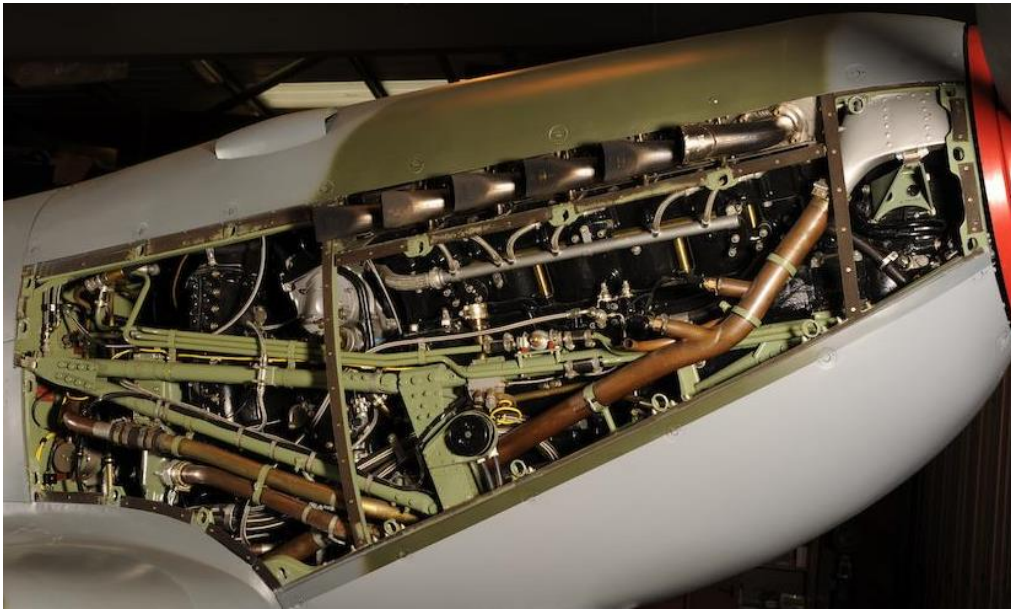


Figura 6-482. Portador de motor en Spitfire real

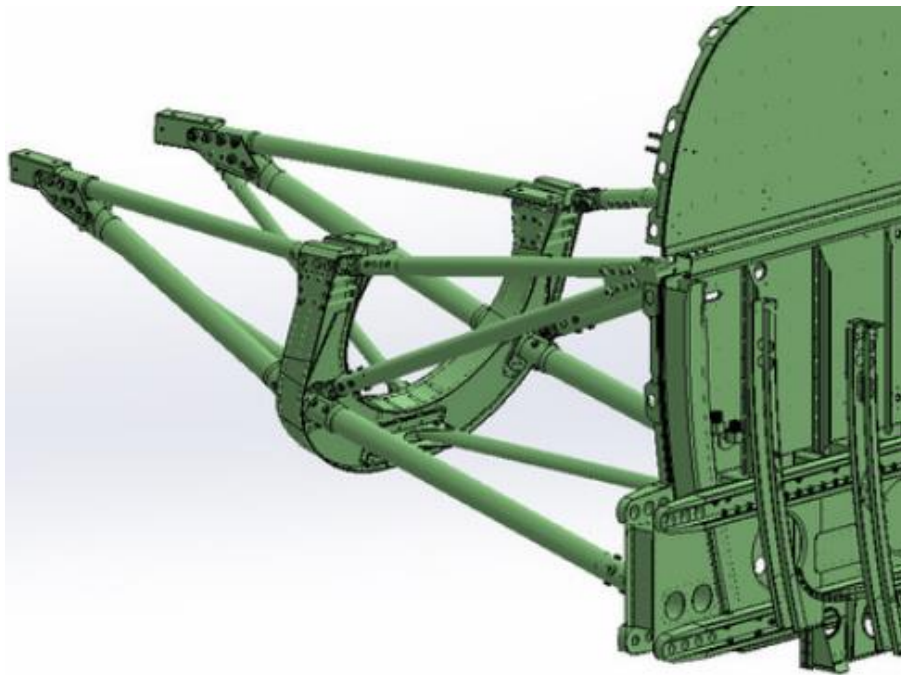


Figura 6-483. Portador de motor en modelo CAD

Podemos concluir que en esta parte del avión, a excepción del sistema propulsor, se ha modelado exclusivamente el carenado.

### 6.7.1 Primeros pasos de la restauración

El primer paso para la restauración es quitar la cubierta exterior, fácilmente desmontable por especificaciones de diseño, ya que debía ser retirada periódicamente para inspecciones del motor. De ahí que no se encuentre remachada a la estructura como es habitual en el resto del avión, poseyendo una sujeción especialmente diseñada.

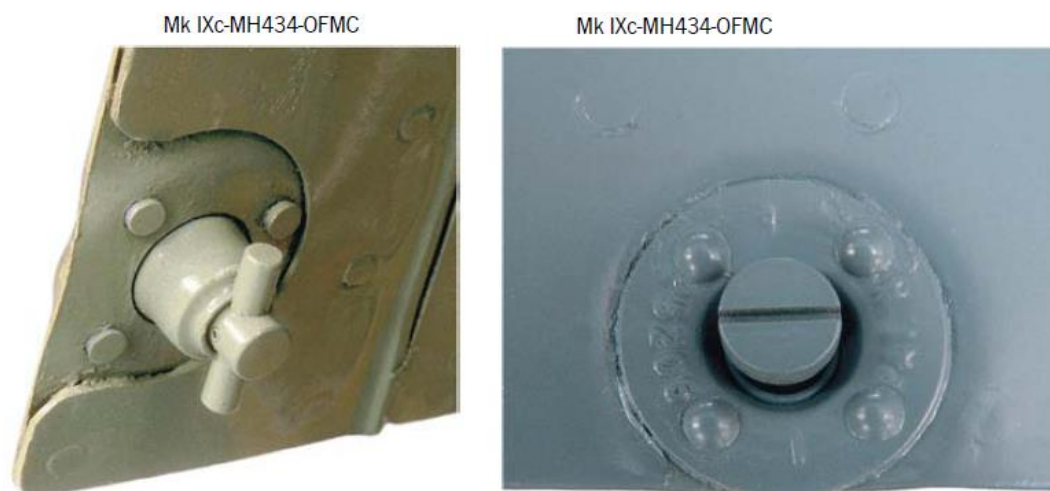


Figura 6-484. Sujeción de la cubierta. Izquierda interior de la aeronave y derecha exterior

A continuación quitamos las barras y perfiles necesarios para poder acceder al motor, retiramos las uniones atornilladas motor-portador y desmontamos los conductos de aceite y combustible, la toma de aire, el depósito de aceite y las bombas encargadas del suministro de estos fluidos. Una vez hecho esto, podemos retirar el motor y separar el portador del fuselaje (unión con la cuaderna 5).

Por otro lado, para la correcta inspección del sistema propulsor, desmontamos el carenado que cubre la hélice (*spinner*) y posteriormente la estructura de fijación, el eje transmisor y las palas de la hélice (uniones atornilladas y remachadas).

El siguiente paso consiste en la inspección exhaustiva de los diferentes componentes, haciendo uso de útiles específicamente diseñados. Comenzamos por una inspección visual centrada en la corrosión obvia, fracturas de pieles o elementos estructurales y elongación de agujeros. También realizamos ensayos no destructivos (normalmente rayos X) en el portador de motor, zona crítica del módulo *Cowlings*.

### 6.7.2 Secciones (rediseñado)

Como parte del TFG se modelaron catorce secciones vacías que servían de guía para la realización de la superficie externa.

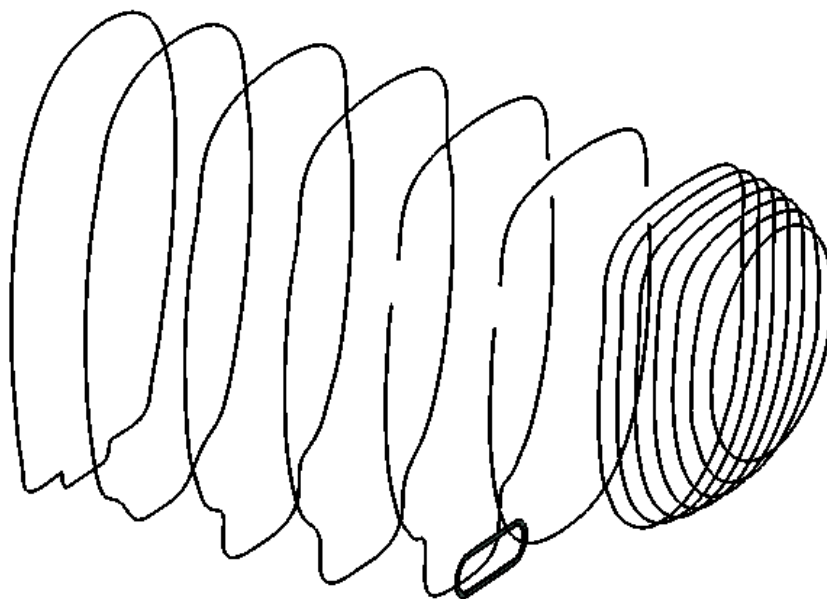


Figura 6-485. Secciones de *cowlings* modeladas en CATIA

Como podemos observar en las figuras del portador de motor, en el avión real se tienen tan sólo la primera (sección 81), la última (sección 0) y dos intermedias (secciones 12 y 48), todas ellas ligeramente modificadas. También se conserva la sección 32.5, correspondiente a la toma inferior de aire (sin modificar).

### 6.7.2.1 Modelado sección 0 rediseñada

Respetando el contorno definido en el TFG, en la operación *Rib.1* definimos un nuevo perfil en sustitución del cuadrado de 2 x 2mm. Básicamente ampliamos la dimensión horizontal de este cuadrado (en dirección a la sección 12) hasta obtener un rectángulo de dimensiones 15 x 2mm.

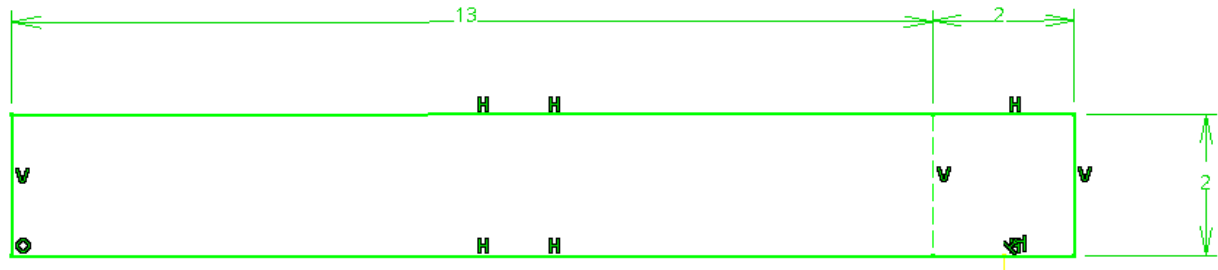


Figura 6-486. Sección 0: Perfil utilizado en la operación *Rib.1*

A continuación realizamos una operación de extrusión (*Pad.1*) de longitud 1mm, desde el plano frontal de la sección hacia dentro.

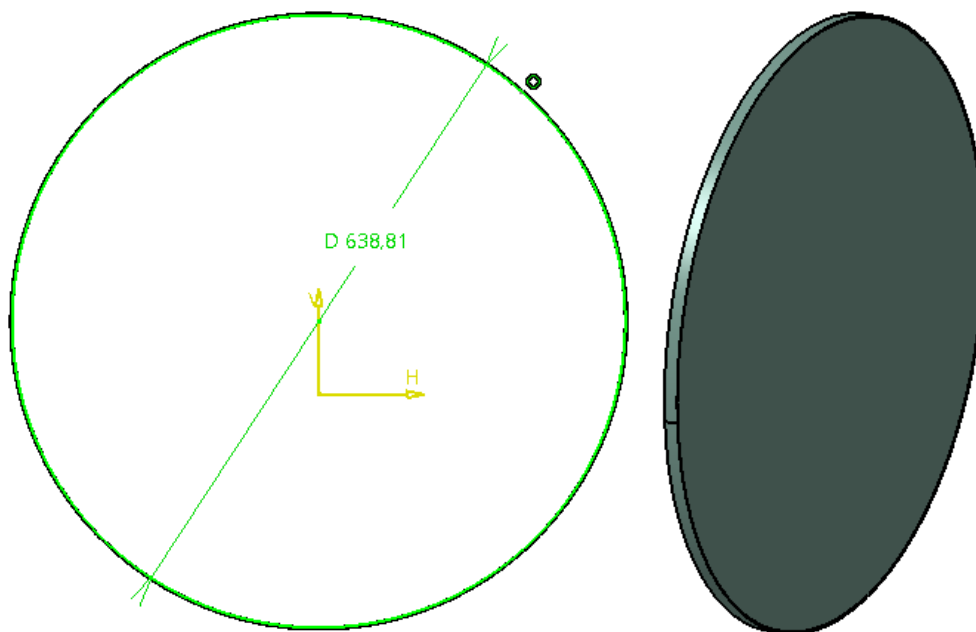


Figura 6-487. Sección 0: *Sketch* y resultado de la extrusión

Por último realizamos agujeros pasantes en esta superficie mediante una operación de vaciado (*Pocket.1*).



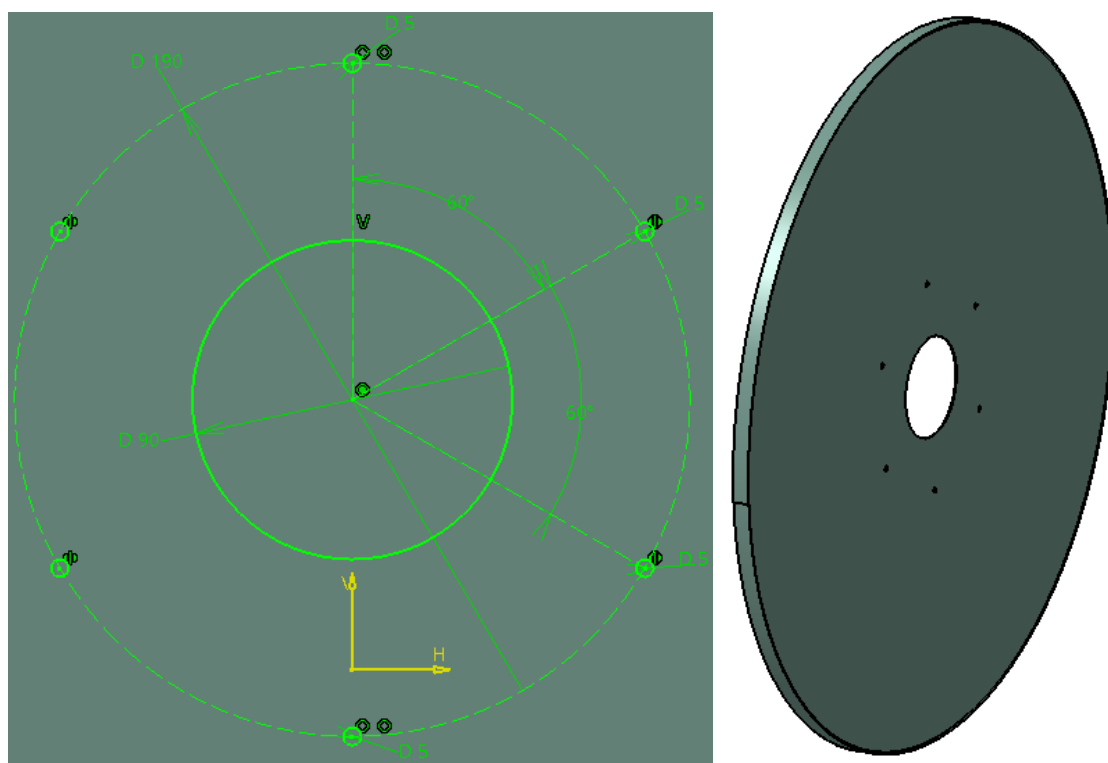


Figura 6-488. Sección 0: *Sketch* y resultado del vaciado

#### 6.7.2.2 Modelado sección 12 rediseñada

Siguiendo el contorno definido en el TFG, ampliamos la dimensión horizontal del cuadrado de lado 2mm, respetando el punto medio del segmento.

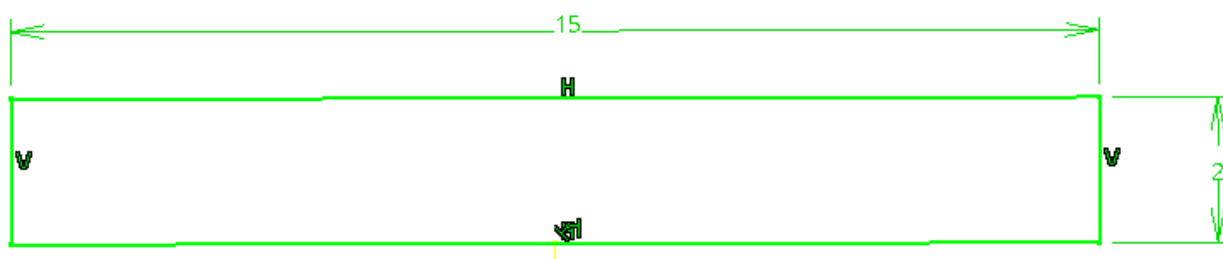


Figura 6-489. Sección 12: Perfil utilizado en la operación *Rib.1*

Insertamos un nuevo cuerpo (*Insert/Body*) que uniremos posteriormente al *Part Body* mediante la operación booleana *Union trim.1*. Utilizamos la operación *Rib.2* para crear la nueva geometría, donde el perfil seleccionado es un cuadrado de lado 2mm, y *Mirror.2* para hacer simetría respecto del plano vertical transversal (plano yz).



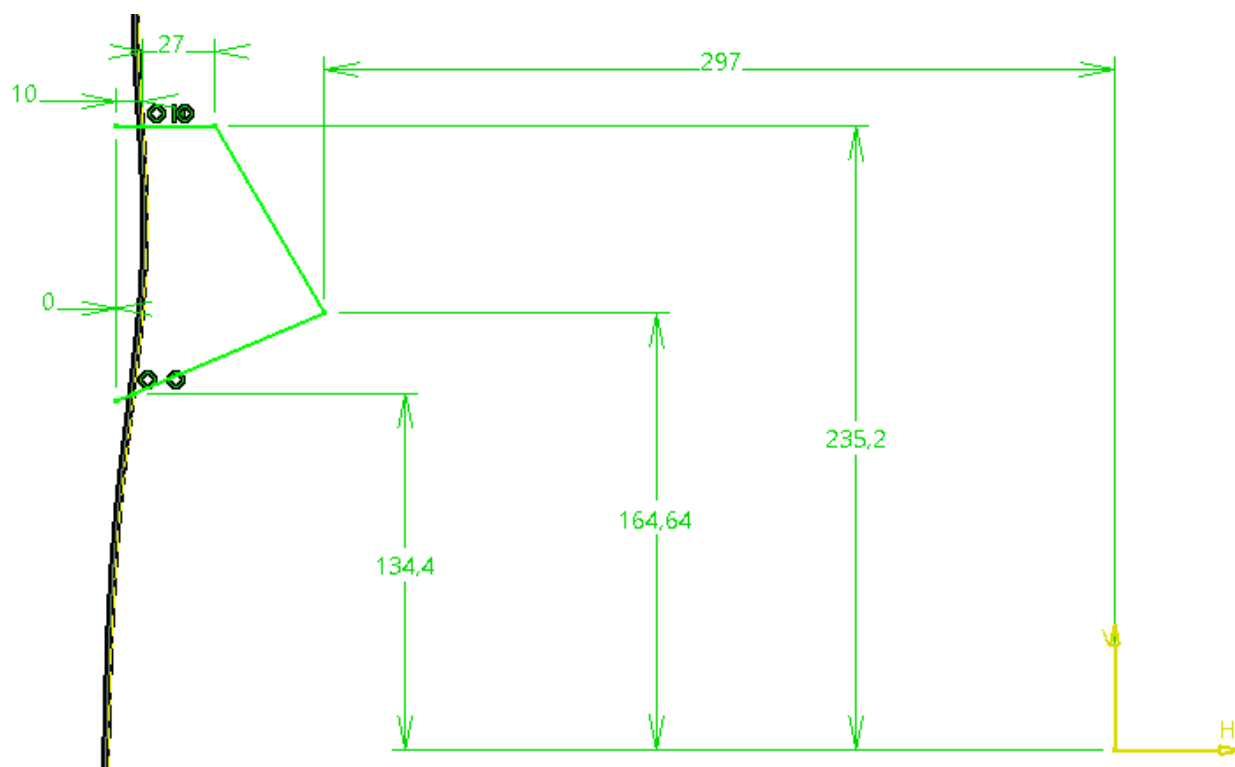


Figura 6-490. Sección 12: Contorno seguido en la operación *Rib.2*

Por último cortamos mediante la operación *Split.1* todo lo que queda por encima de la superficie superior de la nueva geometría creada.

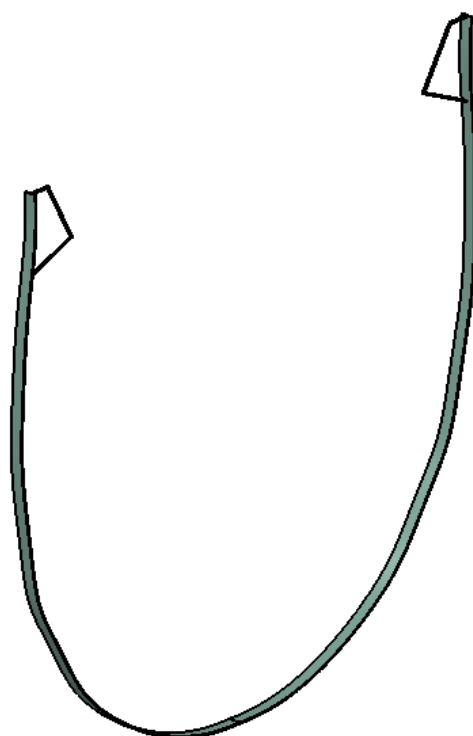


Figura 6-491. Sección 12 modelada en CATIA

### 6.7.2.3 Modelado sección 48 rediseñada

Coincide en su totalidad con el rediseñado de la sección 12.

#### 6.7.2.4 Modelado sección 81 rediseñada

Al igual que en la sección 0, definimos un nuevo perfil en la operación *Rib.1* que consiste en ampliar la dimensión horizontal del cuadrado de lado 2mm (en sentido opuesto a la sección 48) hasta obtener un rectángulo de dimensiones 15 x 2mm.

A continuación realizamos una operación de extrusión (*Pad.1*) de longitud 2mm y espesor 25mm, desde el plano anterior de la sección hacia dentro. El perfil tomado (*Sketch*) es el contorno interior del resultado de *Rib.1*.

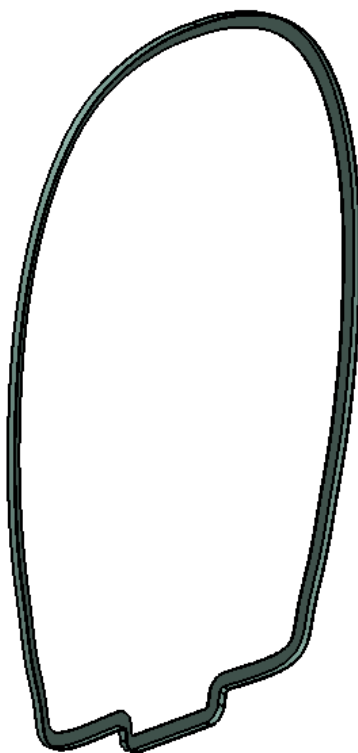


Figura 6-492. Sección 81 modelada en CATIA

#### 6.7.2.5 Proceso de fabricación

Tras modelar nuevamente algunas secciones, obtenemos el siguiente resultado:

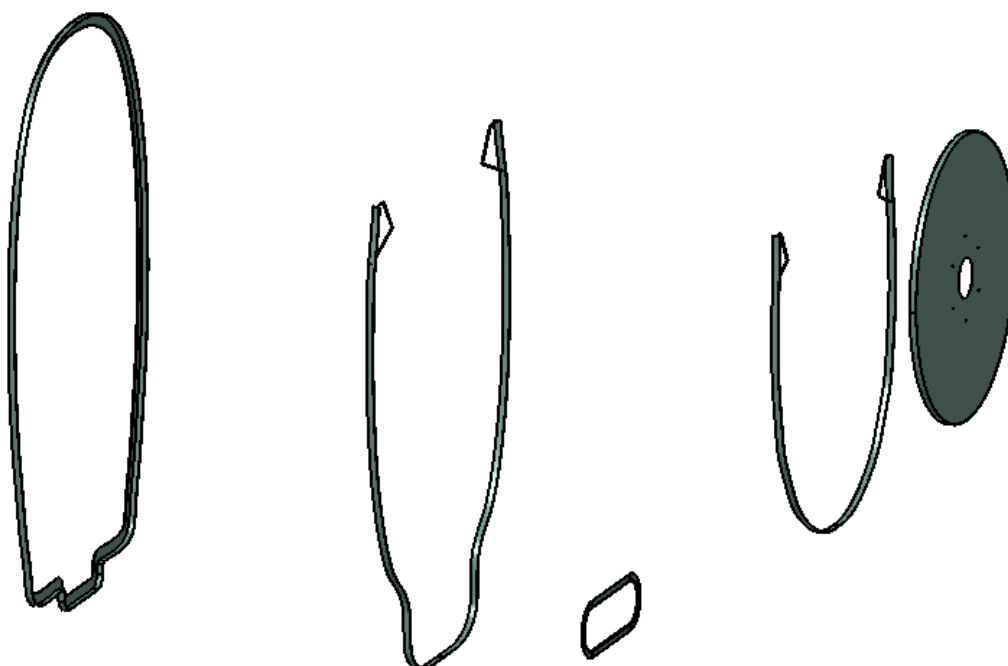


Figura 6-493. Secciones de *cowlings*

Todas estas secciones se obtienen fácilmente siguiendo un proceso muy similar (tomamos como referencia la sección 81).

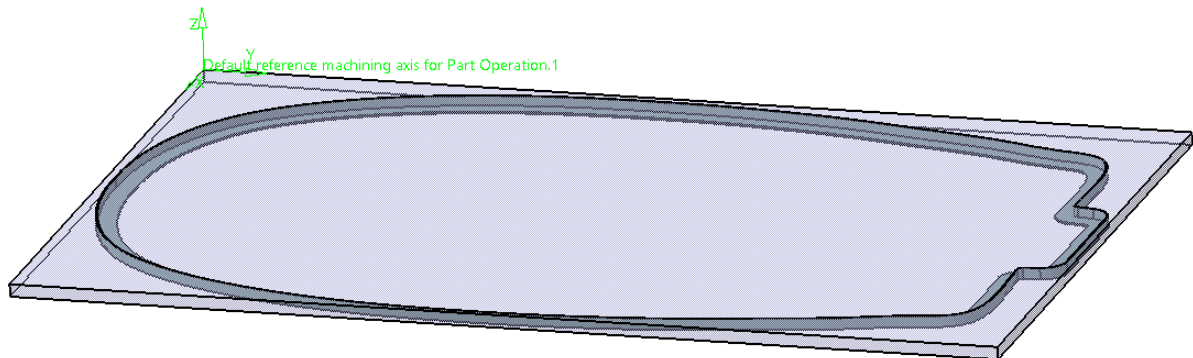


Figura 6-494. Sección 81: Preforma

**1. Planeado por ambas caras (*Facing.1, Facing.2*):**

- a. **Estrategia de mecanizado:** Ida y vuelta con una pasada de desbaste y una de acabado.
- b. **Geometría a mecanizar:** Caras superior e inferior de la preforma.
- c. **Herramienta:** Cabezal portacuchillas ASX400-100B10R de Mitsubishi Materials (Figura 6-28, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- d. **Parámetros de corte:** Los definidos para mecanizado de aleaciones de aluminio con la herramienta de corte elegida (Figura 6-29, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- e. **Macros:** Macros de aproximación, retirada y aclarado del usuario (6.4.1.7. *Macros en operaciones de mecanizado*).

**2. Contorneado exterior (*Profile Contouring.1*):**

- a. **Estrategia de mecanizado:** Zig-zag con una pasada de desbaste y una de acabado.
- b. **Geometría a mecanizar:** Contorno exterior de la pieza.
- c. **Herramienta:** Fresa periférico-frontal VQJHVD1200 de Mitsubishi Materials (Figura 6-32, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- d. **Parámetros de corte:** Los definidos para mecanizado de aleaciones de aluminio con la herramienta de corte elegida (Figura 6-33, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- e. **Macros:** Macros de aproximación, retirada y aclarado del usuario (6.4.1.7. *Macros en operaciones de mecanizado*).

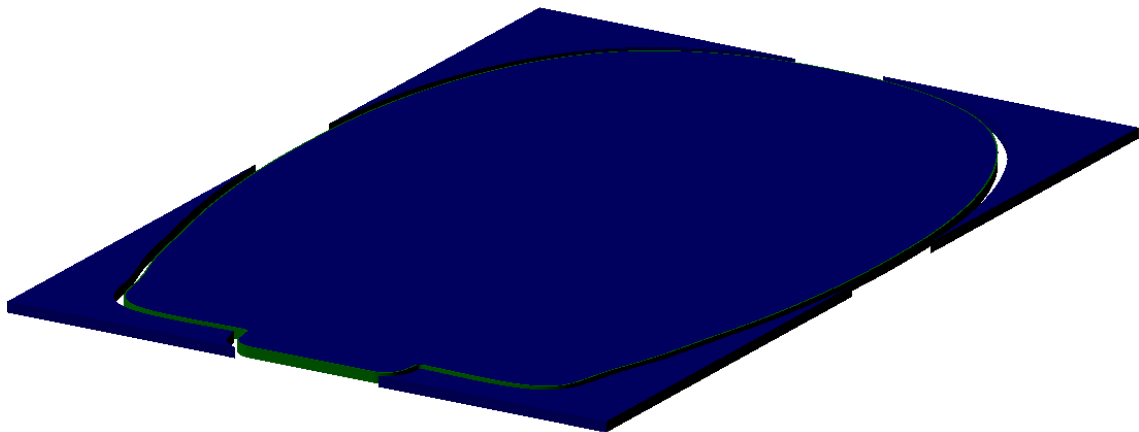


Figura 6-495. Sección 81: Resultado de contorneado exterior

**3. Contorneado interior (*Profile Contouring.2, Profile Contouring.3*):**

- a. **Estrategia de mecanizado:** Zig-zag con una pasada de desbaste y una de acabado para el

primero y cinco pasadas de desbaste y acabado para el segundo (mecanizado en cinco niveles radiales con pasada de acabado en todos).

- b. **Geometría a mecanizar:** Contorno interior de la pieza.
- c. **Herramienta:** Fresa periférico-frontal VQJHVD1200 de Mitsubishi Materials (Figura 6-32, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- d. **Parámetros de corte:** Los definidos para mecanizado de aleaciones de aluminio con la herramienta de corte elegida (Figura 6-33, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- e. **Macros:** Macros de aproximación, retirada y aclarado del usuario (6.4.1.7. *Macros en operaciones de mecanizado*).

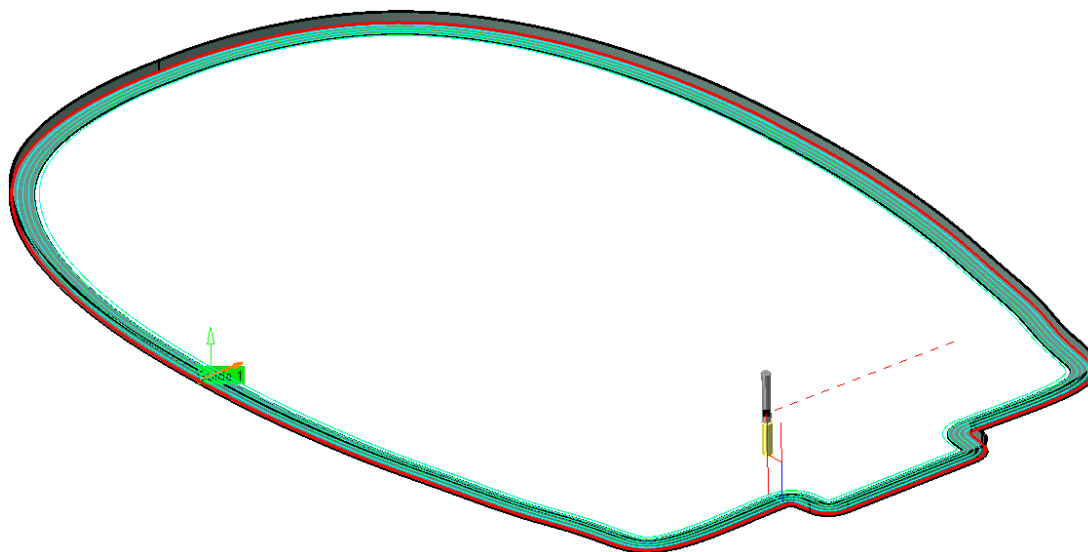


Figura 6-496. Sección 81: Trayectoria de contorneado interior 2

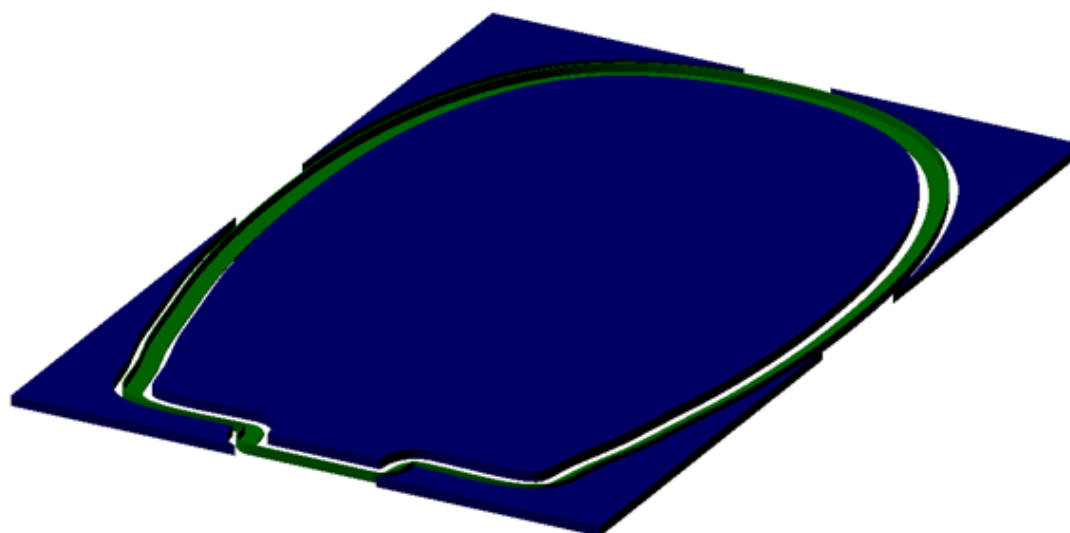


Figura 6-497. Sección 81: Resultado de contorneado interior

Los perfiles del portador de motor (similares a los largueros del fuselaje) se obtienen mediante **laminación** y **extrusión** (utilizando la matriz o hilera adecuada), mientras que las barras se obtienen mediante **laminación** y **torneado** (refrentado, cilindrado, tronzado...).

#### 6.7.2.6 Ensamblaje secciones

No tiene sentido exponer el ensamblaje de las secciones sin el portador de motor, parte central de la estructura de este módulo de la aeronave. Sin embargo, basándonos en fotografías del avión, intuimos que las secciones se unen mediante los perfiles que mencionamos anteriormente. Sería necesario realizar operaciones de **taladrado**, **pinzado** y **remachado**.

### 6.7.3 Cubierta

La cubierta exterior de esta zona tiene una función muy específica aparte de minimizar la resistencia aerodinámica, proteger al motor. Para ello se utilizan superficies de aluminio de espesor 1.22mm, obtenidas por **laminación, corte y conformado rotativo** de chapa (moldes certificados por la Autoridad de Aviación Civil correspondiente). Concretamente se usan tres, *upper, medium y lower cowling*.



Figura 6-498. *Lower cowling* del Spitfire Mk IX

Sin embargo, para facilitar el modelado de esta parte de la aeronave, se diseñó la cubierta exterior como una sola superficie, obviando tanto las uniones de chapas, como el remachado de algunos larguerillos (en *upper y medium cowling*).

En el *medium cowling* se tiene una abertura para disipar calor a través de los escapes del motor, que podemos obtener mediante una operación de **contorneado** con fresa periférico-frontal, por ejemplo, la fresa AM2MBR0200A060 de Mitsubishi Materials (Figura 6-36, apartado **6.3.3.5 Herramientas seleccionadas**).

Por otro lado, en el *lower cowling* también existe una abertura que sirve como toma de aire. Esta toma está equipada con un filtro Vokes, de manera que el piloto puede seleccionar si el aire se filtra, cerrándose una puerta que fuerza al aire a pasar por el mencionado filtro.

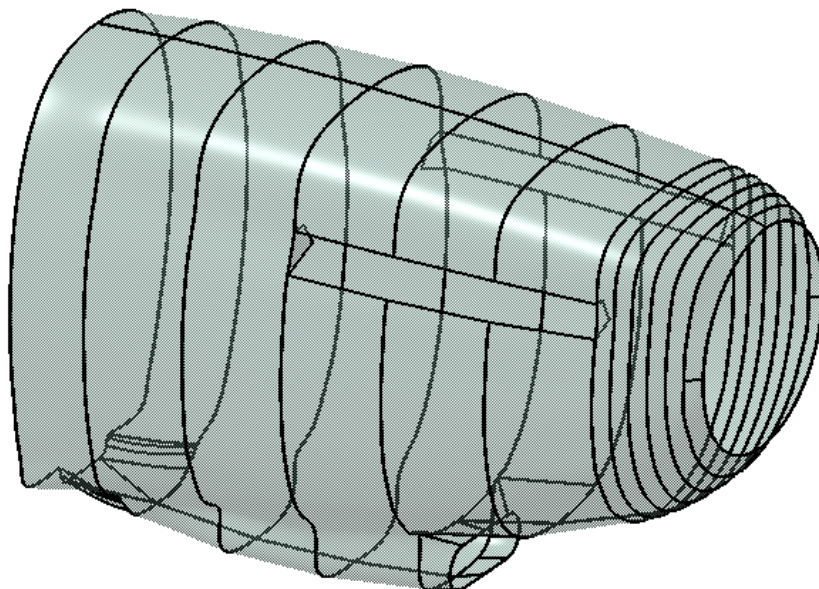


Figura 6-499. Cubierta de *cowlings* modelada en CATIA

### 6.7.4 Spinner (rediseñado)

Conjunto de piezas que se montan sobre el eje de la hélice, principalmente para mejorar las prestaciones aerodinámicas del avión disminuyendo el arrastre aerodinámico. También juega un papel determinante en la toma de aire, produciendo un efecto positivo sobre el flujo de entrada.

En el modelado realizado en el TFG está formado por tres piezas. Sin embargo, a causa de la información recopilada con la nueva bibliografía, realizamos correcciones en el diseño, entre ellas reducir el conjunto a dos piezas (las piezas 2 y 3 del TFG se unen en una sola).

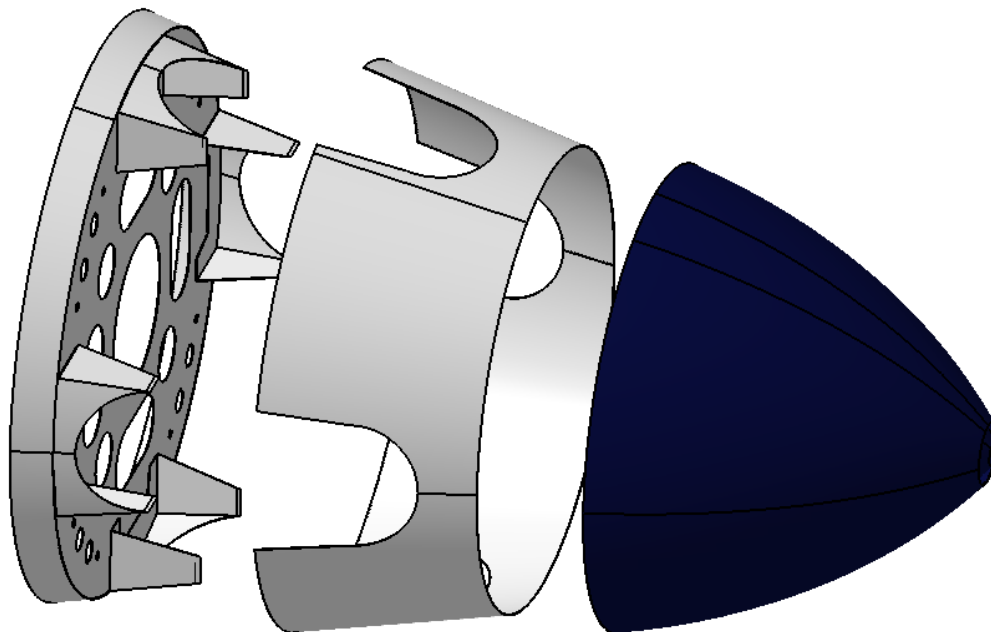


Figura 6-500. *Spinner*: Partes 1, 2 y 3 en el diseño del TFG

A continuación se muestran las modificaciones realizadas en el modelado y las operaciones de fabricación de ambas piezas.

#### 6.7.4.1 Spinner: Pieza 1 (rediseñada)

El único cambio realizado con respecto a la pieza previamente modelada es añadir los taladros de diámetro 5mm que sirven como medio de unión con la sección 0. Realizamos la operación de vaciado en el módulo de superficies, es decir, extrusión (*Volume Extrude.2*) seguida de la operación booleana resta (*Remove.2*).



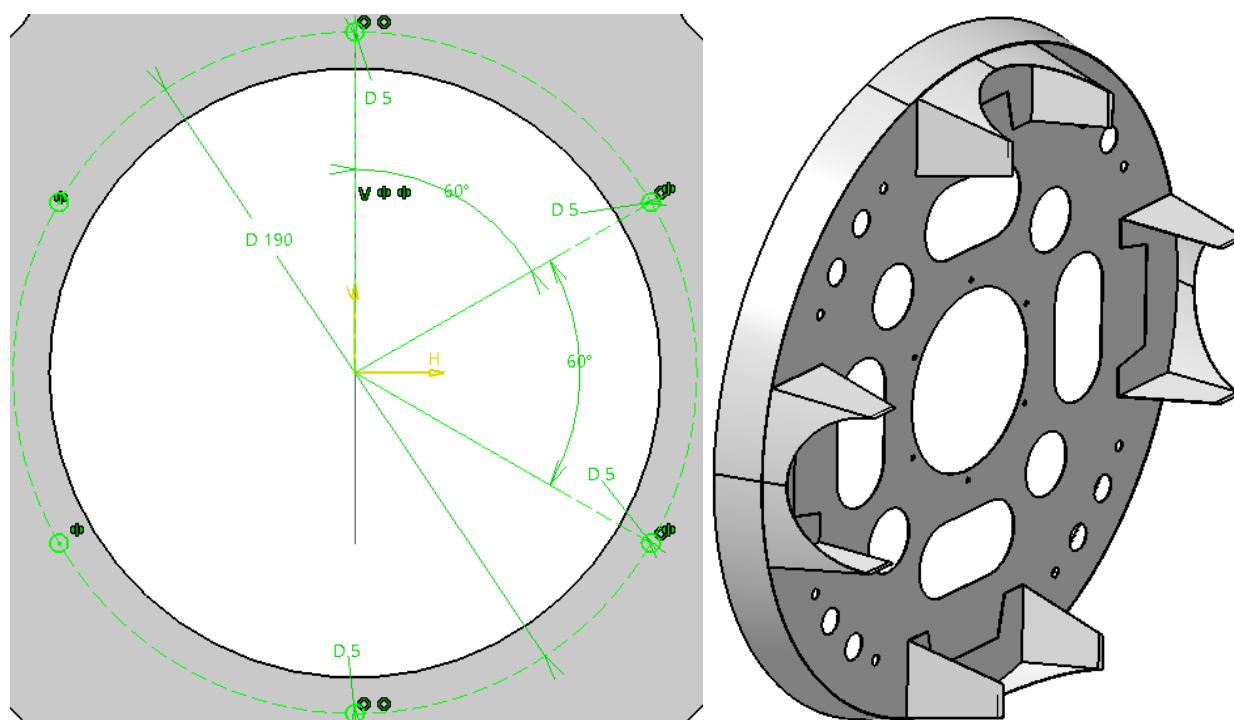


Figura 6-501. Pieza 1 de *spinner*: *Sketch* y resultado de vaciado

A continuación se muestra la secuencia de mecanizado seguida, siendo la preforma la que se muestra en la siguiente figura (dimensiones 645 x 645 x 150mm):

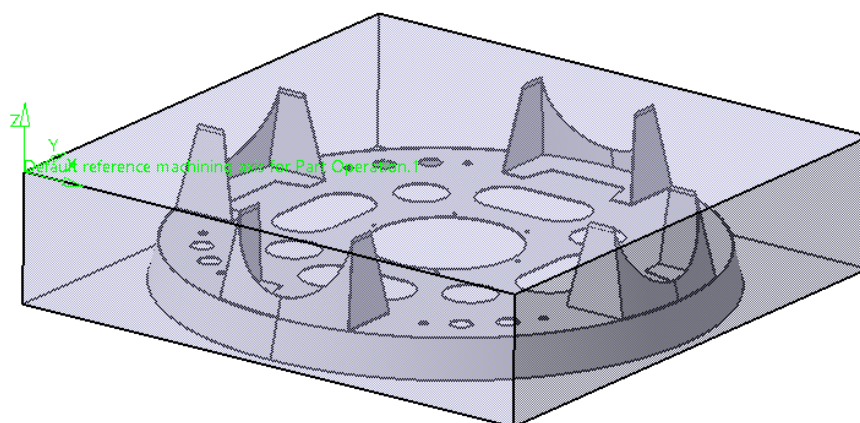


Figura 6-502. Pieza 1 de *spinner*: Preforma

### 1. Planeado por ambas caras (*Facing.1, Facing.2*):

- Estrategia de mecanizado:** Ida y vuelta con una pasada de desbaste y una de acabado.
- Geometría a mecanizar:** Caras superior e inferior de la preforma.
- Herramienta:** Cabezal portacuchillas ASX400-100B10R de Mitsubishi Materials (Figura 6-28, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- Parámetros de corte:** Los definidos para mecanizado de aleaciones de aluminio con la herramienta de corte elegida (Figura 6-29, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- Macros:** Macros de aproximación, retirada y aclarado del usuario (6.4.1.7. *Macros en operaciones de mecanizado*).

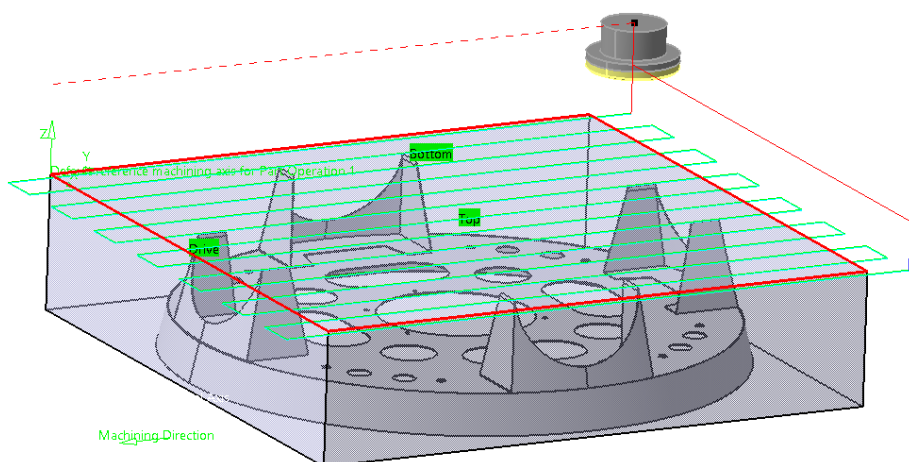


Figura 6-503. Pieza 1 de *spinner*: Trayectoria de planeado

## 2. Desbaste (*Roughing.1-Roughing.2*):

- a. **Estrategia de mecanizado:** Por área mecanizando contorno exterior y huecos. Trayectoria en zig-zag.
- b. **Geometría a mecanizar:** Todo el material restante (una operación en la cara superior y otra en la inferior).
- c. **Herramienta:** Fresa periférico-frontal VQJHVD1200 de Mitsubishi Materials (Figura 6-32, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- d. **Parámetros de corte:** Los definidos para mecanizado de aleaciones de aluminio con la herramienta de corte elegida (Figura 6-33, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- e. **Macros:** Macros definidas por defecto en CATIA.

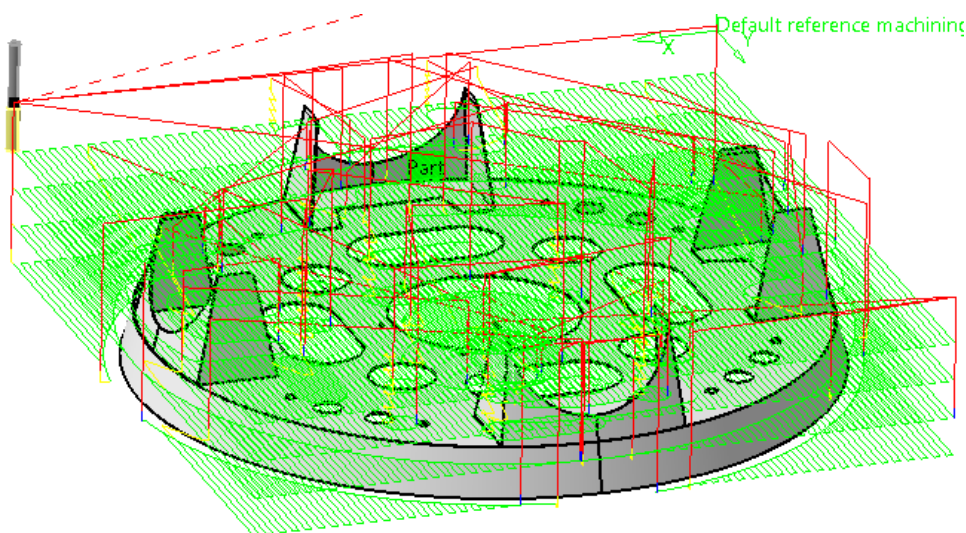


Figura 6-504. Pieza 1 de *spinner*: Trayectoria de desbaste 1



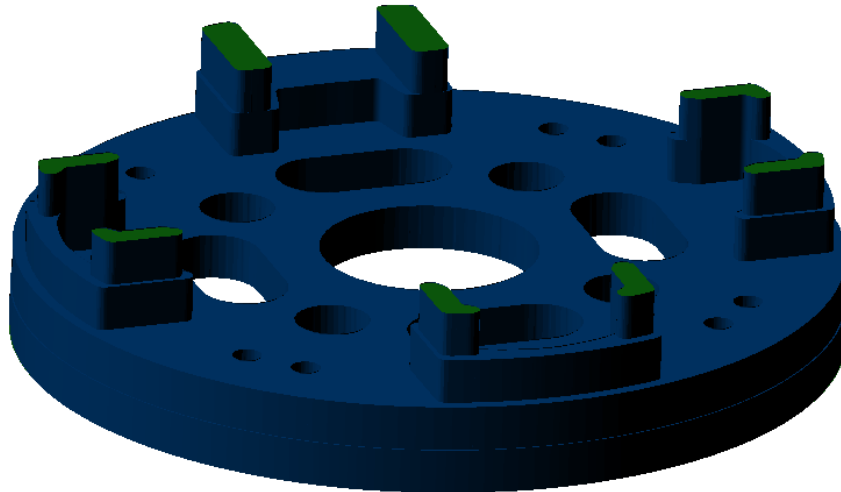


Figura 6-505. Pieza 1 de *spinner*: Resultado de desbaste

Nota: No se muestra análisis de material eliminado por problemas con el software.

**3. Barrido (*Sweeping.1-Sweeping.*):**

- a. **Estrategia de mecanizado:** Trayectoria en zig-zag.
- b. **Geometría a mecanizar:** Todo el material restante (una operación en la cara superior y otra en la inferior).
- c. **Herramienta:** Fresa periférico-frontal AM2MBR0200A060 de Mitsubishi Materials (Figura 6-36, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- d. **Parámetros de corte:** Los definidos para mecanizado de aleaciones de aluminio con la herramienta de corte elegida (Figura 6-37, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- e. **Macros:** Macros definidas por defecto en CATIA.

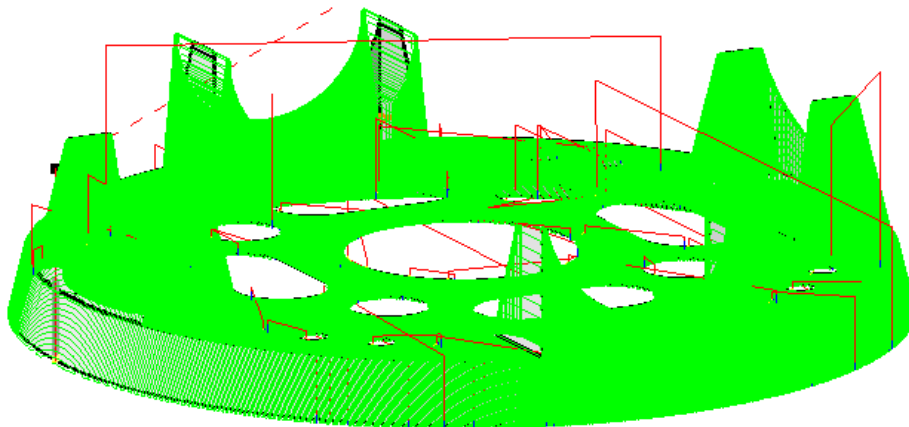


Figura 6-506. Pieza 1 de *spinner*: Trayectoria de barrido 1

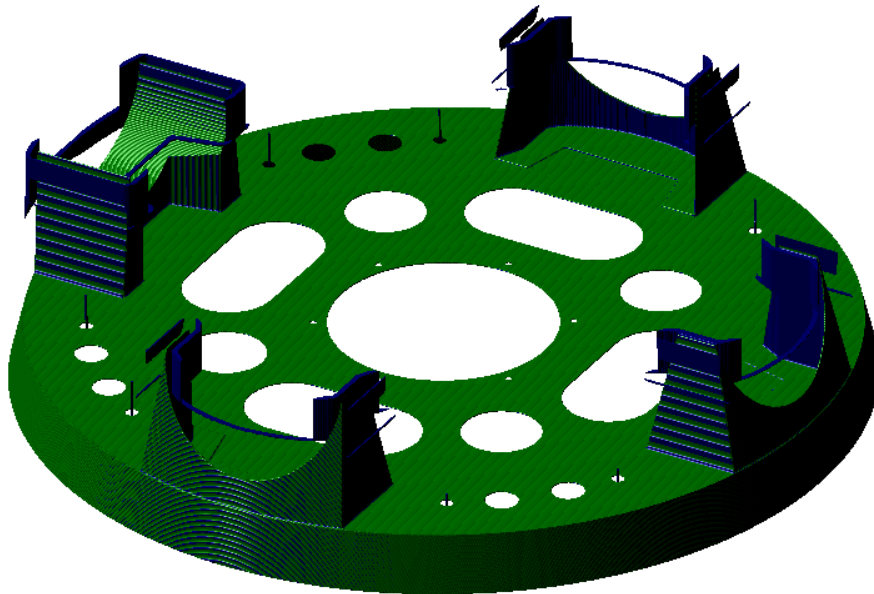


Figura 6-507. Pieza 1 de *spinner*: Resultado de barrido

En la figura anterior podemos apreciar que hay una cantidad significativa de material sin eliminar. Sin embargo, gran parte de este material lo podemos quitar con facilidad (operaciones de mecanizado con abrasivos...) o directamente no se encuentra unido a la pieza (tendría que retirarse conforme se “suelta”, parando la máquina para después seguir con la operación de mecanizado por donde iba).

En el caso del material no eliminado del contorno exterior de la base y del contorno exterior e interior de las partes salientes, aclaramos que podría obtenerse un mejor resultado afinando los parámetros que rigen la operación de barrido, pero el elevado tiempo de computación nos impide realizar más pruebas.

4. **Taladrado (*Drilling.1-Drilling.4*):** Realizamos esta operación para eliminar el material restante en los agujeros (si lo hubiese) y mejorar el acabado superficial, ya que la fresa periférico-frontal utilizada en la operación anterior no es idónea para mecanizar esta geometría.
  - a. **Estrategia de mecanizado:** Secuencia de taladrado 3.1-5-8-10mm para los agujeros de diámetro 10mm y 3.1-5mm para los de 5mm. Transición entre agujeros a 120mm de la pieza.
  - b. **Geometría a mecanizar:** Agujeros de diámetro 5 y 10mm.
  - c. **Herramienta:** Brocas A2 2297 D3.1, A2 2060 D5, A2 2060 D8 y A2 2060 D10 de UNCETA (Figuras 6-42 a 6-50, apartado **6.3.3.5 Herramientas seleccionadas**).
  - d. **Parámetros de corte:** Los definidos para mecanizado de aleaciones de aluminio con la herramienta de corte elegida (Tabla 6-1, apartado **6.3.3.5 Herramientas seleccionadas**).
  - e. **Macros:** Macros de aproximación, retirada y aclarado del usuario (**6.4.1.7. Macros en operaciones de mecanizado**).

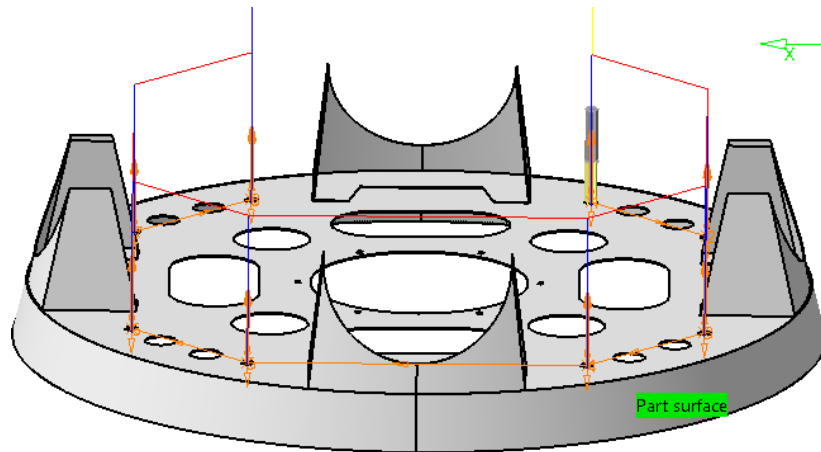


Figura 6-508. Pieza 1 de *spinner*: Trayectoria de taladrado

En este caso se expone la fabricación de la pieza con los medios disponibles, es decir, mediante el uso de la máquina CNC. Sin embargo, existen alternativas más viables en términos de tiempo, y probablemente con mejores resultados, como la siguiente secuencia: **conformado rotativo, con rodillos o con punzón, doblado y corte de chapa, contorneado** (para los huecos) y **taladrado**.

#### 6.7.4.2 Spinner: Pieza 2

Añadimos las cuatro superficies que sirven como punto de sujeción en la unión con la pieza 1, tal y como se muestra en el elemento real.



Figura 6-509. Pieza 2 de *spinner* del Spitfire Mk IX

Para ello realizamos una operación de extrusión (*Volume Extrude.5*) de espesor 1mm, seguida de la operación booleana suma (*Add.1*).

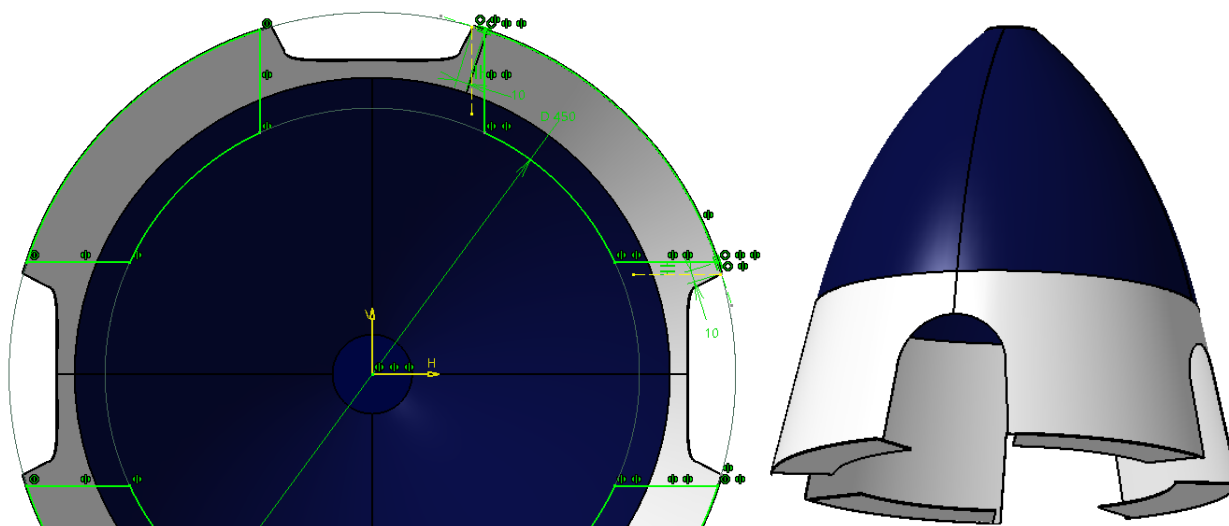


Figura 6-510. Pieza 2 de *spinner*: *Sketch* y resultado de extrusión

Por último realizamos los agujeros circulares de diámetros 10 y 25mm. Repetimos el proceso seguido para la pieza 1, es decir, extrusión (*Volume extrude.6*) seguida de resta (*Remove.5*).

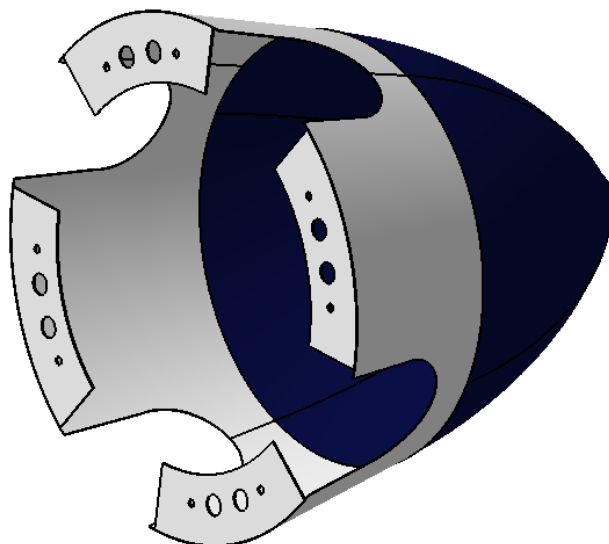


Figura 6-511. Pieza 2 de *spinner* modelada en CATIA

Una vez finalizado el nuevo modelo, describiremos el proceso a seguir para la obtención de la pieza.

1. **Laminación:** Para obtener una chapa de aluminio de espesor 1mm y dimensiones adecuadas.
2. **Conformado rotativo de chapa:** Haciendo uso del molde de madera mostrado.



Figura 6-512. Pieza 2 de *spinner* modelada

**3. Contorneado (*Profile Contouring.1-Profile Contouring.4*):**

- a. **Estrategia de mecanizado:** Zig- zag con una pasada de desbaste y una de acabado.
- b. **Geometría a mecanizar:** Huecos laterales de la pieza.
- c. **Herramienta:** Fresa periférico-frontal AM2MBR0200A060 de Mitsubishi Materials (Figura 6-36, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- d. **Parámetros de corte:** Los definidos para mecanizado de aleaciones de aluminio con la herramienta de corte elegida (Figura 6-37, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- e. **Macros:** Macros de aproximación, retirada y aclarado del usuario (6.4.1.7. *Macros en operaciones de mecanizado*).

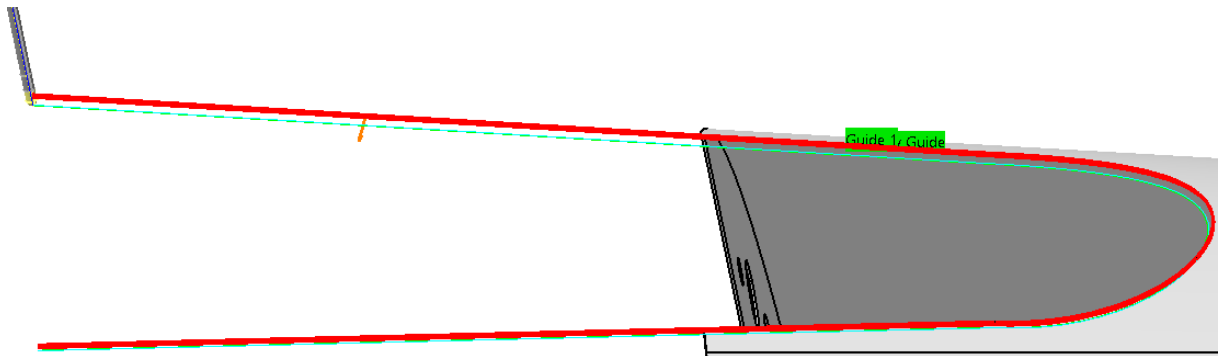


Figura 6-513. Pieza 2 de *spinner*: Trayectoria de contorneado

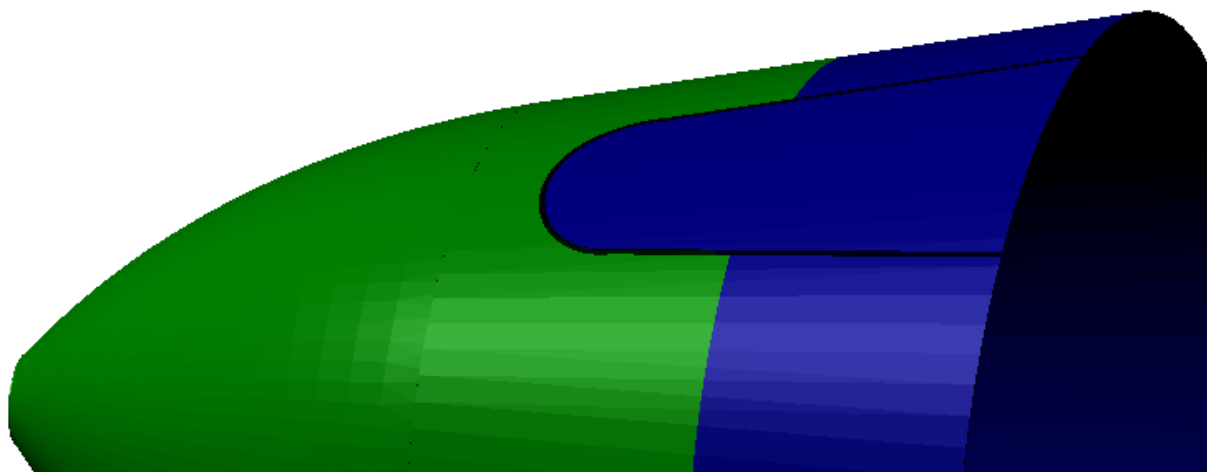


Figura 6-514. Pieza 2 de *spinner*: Resultado de contorneado

4. **Doblado y corte de chapa:** Una vez eliminado el material de las cavidades laterales, procedemos a doblar la chapa de la parte inferior para obtener las cuatro superficies modeladas con anterioridad.
5. **Taladrado:** Lo realizamos mediante el uso de un taladro tipo pistola, las brocas A2 2297 D2.5, A2 2297 D3.1, A2 2060 D5, A2 2060 D8 y A2 2060 D10 y una corona circular de diámetro 25mm.

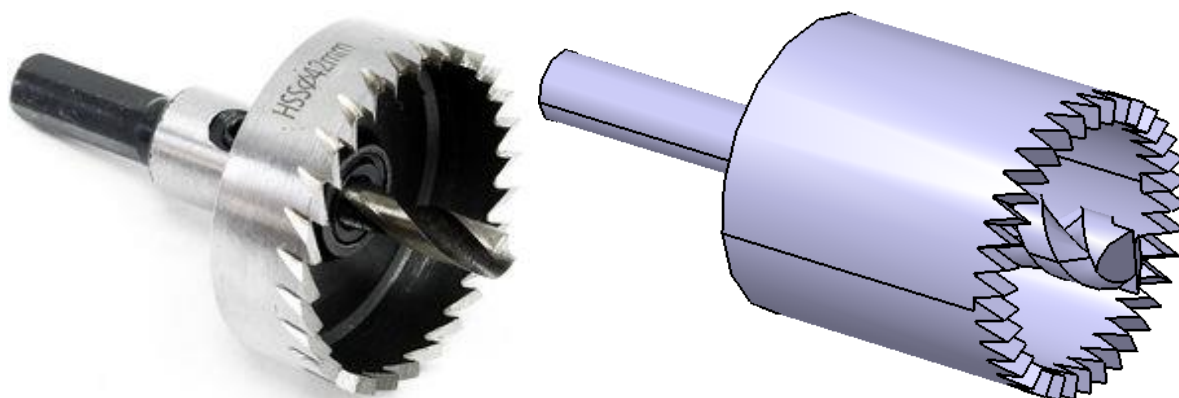


Figura 6-515. Corona circular real y modelada en CATIA

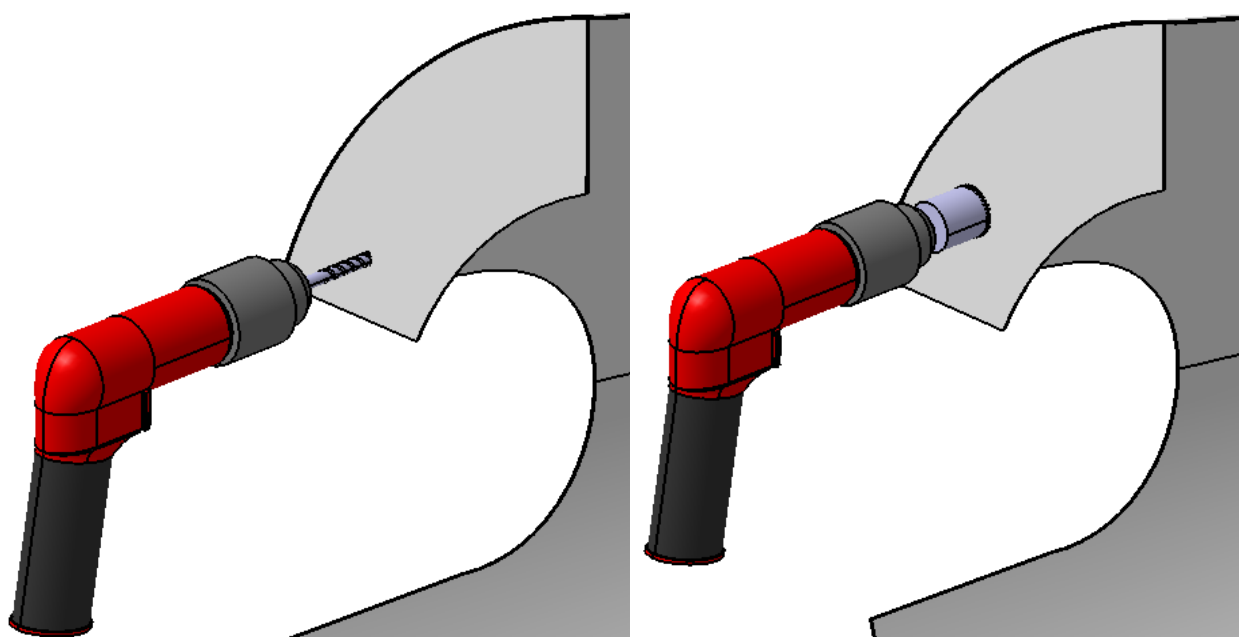


Figura 6-516. Pieza 2 de *spinner*: Proceso de taladrado

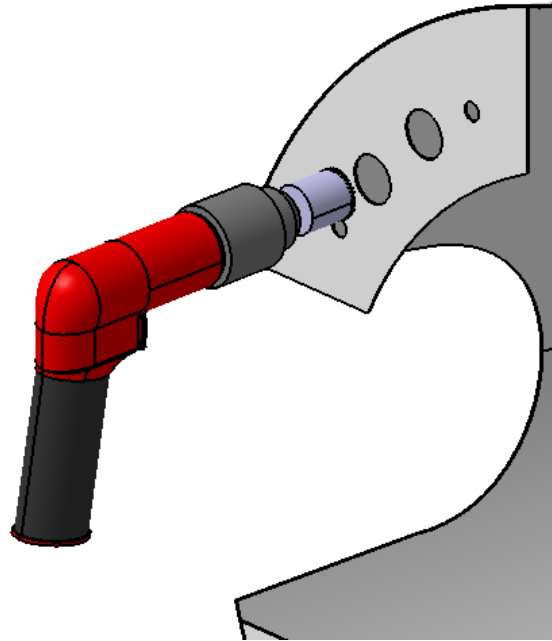


Figura 6-517. Pieza 2 de *spinner*: Resultado de taladrado

También podríamos realizar la operación de contorneado antes de realizar el conformado rotativo, con la dificultad añadida de calcular con exactitud cuál es la cavidad en la chapa plana para obtener el resultado deseado tras el conformado.

#### 6.7.4.3 Ensamblaje spinner

El ensamblaje entre las dos partes del *spinner* se realiza mediante ocho **uniones atornilladas** con tornillos, arandelas y tuercas de diámetro 5mm. Sin embargo, esta unión no se efectúa hasta que no esté la hélice en su posición (entre ambas piezas).

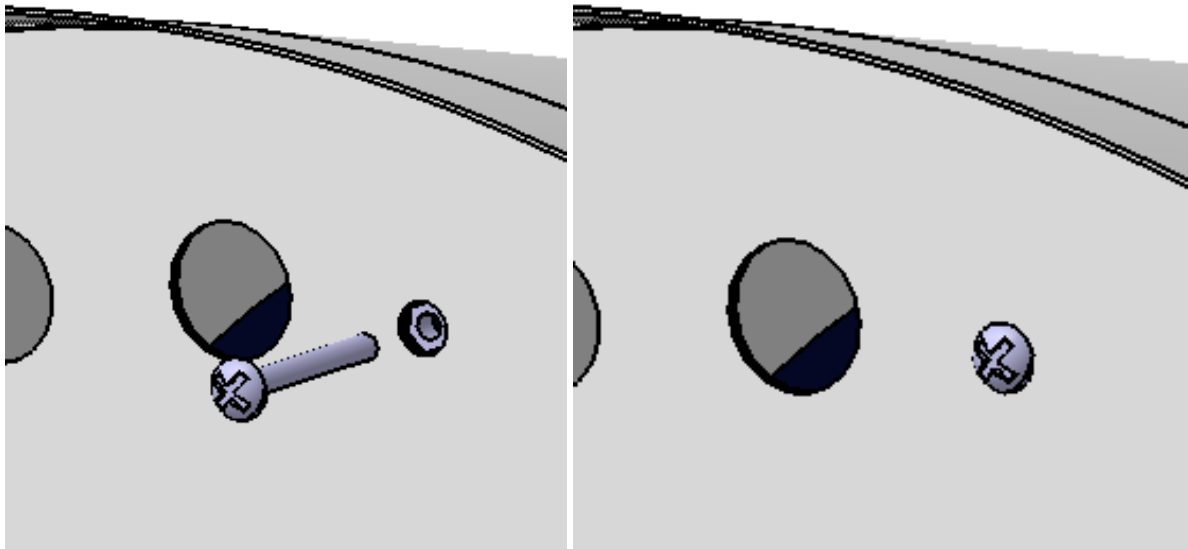


Figura 6-518. *Spinner*: Unión atornillada entre piezas

Nota: el modelado de los tornillos y tuercas es una ampliación llevada a cabo como parte del TFM.

### 6.7.5 Hélice

La hélice es un dispositivo constituido fundamentalmente por tres partes: el eje transmisor de potencia, un número variable de palas (en nuestro caso cuatro) y la estructura de fijación de estas palas. Su función es producir fuerza propulsora a través del giro de las palas alrededor del eje que transmite la potencia generada por el motor.

El giro de la hélice provoca un cambio de presión y velocidad en el flujo de aire, apareciendo una fuerza de reacción (empuje) en la dirección del eje de giro.

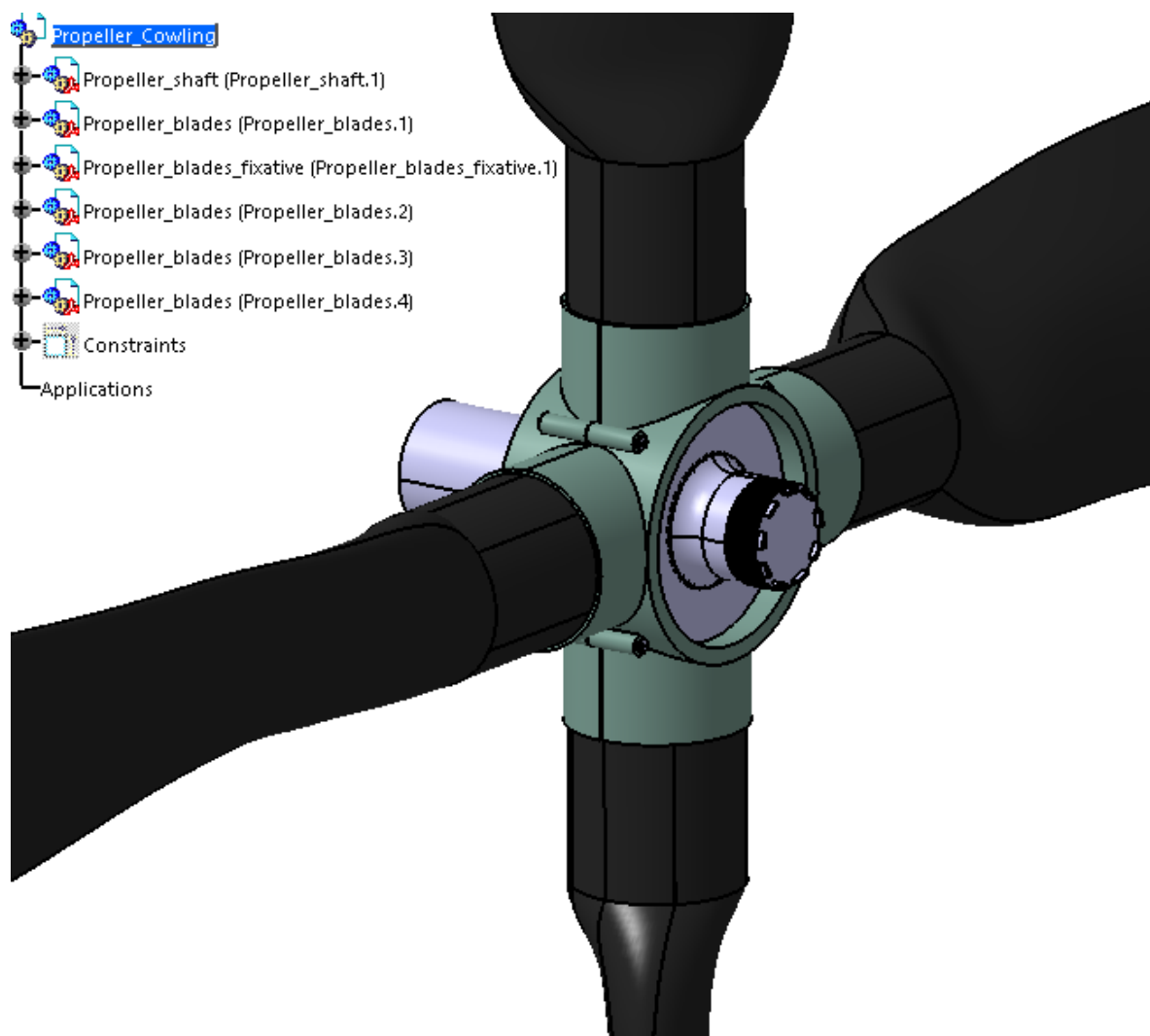


Figura 6-519. Hélice modelada en CATIA

#### 6.7.5.1 Hélice: Palas

Las palas son el elemento en contacto directo con la corriente incidente y responsables de la fuerza de empuje generada. Se fabrican con torsión, de manera que el ángulo de incidencia de la corriente disminuye según avanzamos hasta la punta, y pueden ser de paso fijo, paso variable o de velocidad constante (paso regulado de forma automática).

En su diseño debemos elegir adecuadamente la forma, diámetro, número de palas... para un funcionamiento correcto en el rango de velocidades de la aeronave. Es muy importante controlar la velocidad a la que gira el extremo de la pala, ya que si alcanza el régimen supersónico da lugar a la formación de ondas de choques con consecuencias fatales.

En el Spitfire Mk IX tenemos cuatro palas de paso fijo o variable, diámetro 1628mm y fabricadas en *wood resin* (madera-plástico). Se utiliza un sistema reductor basado en engranajes para solventar las altas velocidades en la punta.



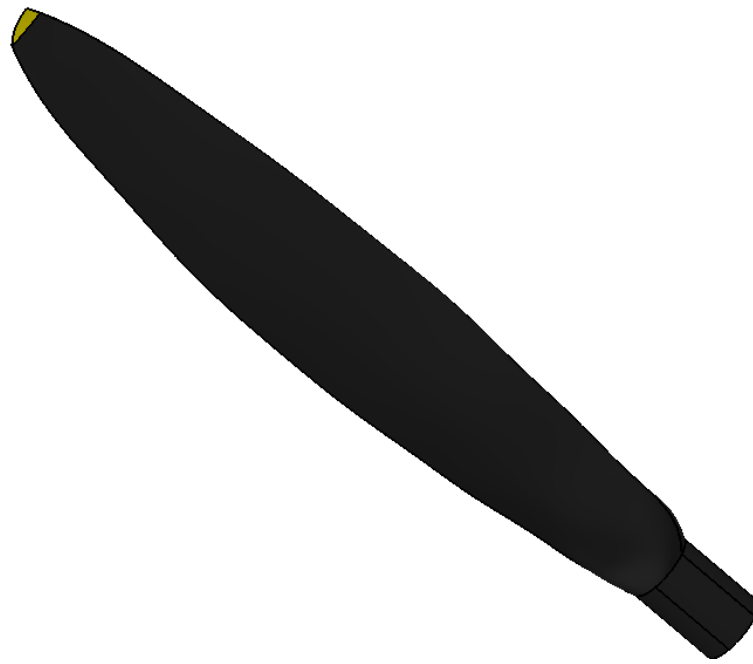


Figura 6-520. Pala modelada en CATIA

#### 6.7.5.2 Hélice: Eje transmisor de potencia

Unido al eje de salida del motor, como su nombre indica, transmite la potencia generada por el motor Rolls-Royce Merlin. Está dotado de un sistema reductor basado en engranajes.

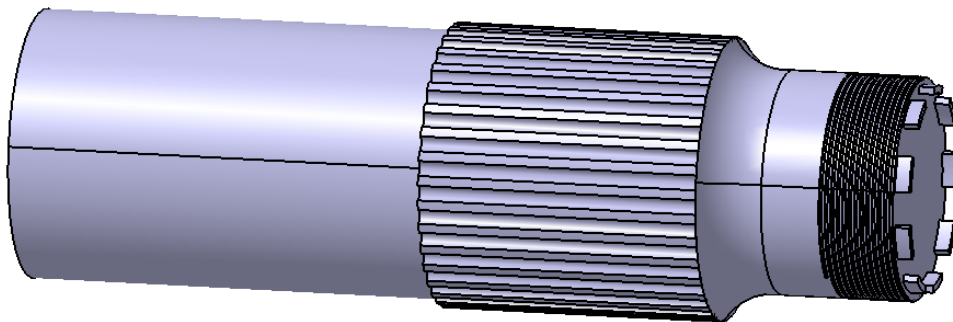


Figura 6-521. Hélice: Eje transmisor modelado en CATIA

### 6.7.5.3 Hélice: Estructura de fijación de la palas

Esta parte sirve para alojar las palas. Contiene la otra parte del engranaje del sistema reductor.

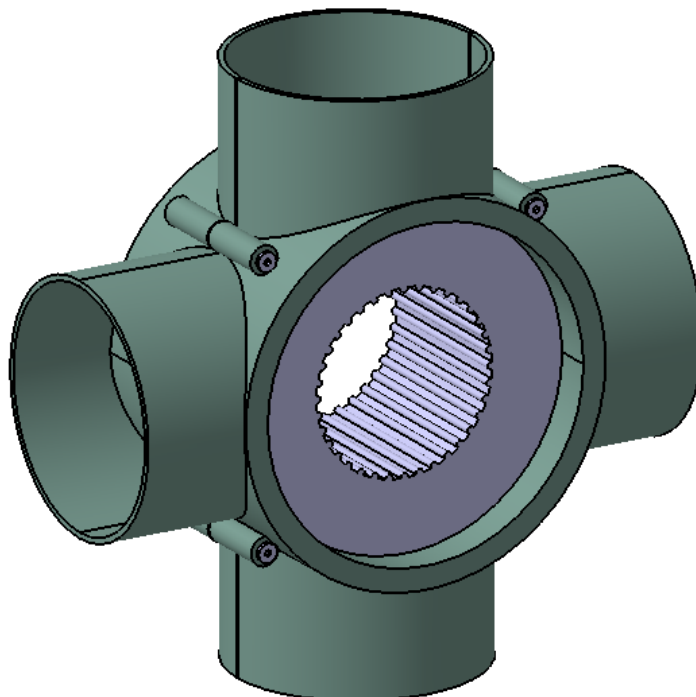


Figura 6-522. Hélice: Estructura de fijación modelada en CATIA

### 6.7.5.4 Hélice: Fabricación o restauración

Si estamos inmersos en un proyecto de restauración, el primer paso será comprobar si el avión adquirido dispone de este sistema. En caso afirmativo, debemos retirar el *spinner* y quitar el pistón de ensamblaje de la hélice (junto al conducto de aceite) para poder desmontarla. Para manipular correctamente el sistema propulsor, haremos uso de eslingas y puente grúa.

Llegados a este punto, evaluaremos el estado del sistema para decidir si reacondicionarlo sería suficiente o por lo contrario necesitamos fabricar sus componentes total o parcialmente. Como aclaración, mencionamos que los expertos en restauración de aeronaves coinciden en la sustitución de las palas en la mayoría de los casos.

Haciendo referencia nuevamente a las pautas marcadas por los autores del manual de referencia, se recomienda que tanto la restauración como la fabricación de la hélice sean llevadas por personal cualificado en la manipulación de este sistema concreto. Esto se debe principalmente, a la complejidad del sistema, la vital importancia de su correcto funcionamiento y el elevado número de horas de trabajo que supone (aproximadamente 250). Entre las compañías especializadas destaca Skycraft Services Ltd, que lleva fabricando componentes de la hélice del Spitfire desde 1987 (actualmente incluso dispone de stock de piezas concretas).

Por tanto, no se simularán operaciones de fabricación relacionadas con la hélice, dejando estas labores en manos de compañías especializadas. De hecho el diseño elegido por la compañía puede variar ostensiblemente con respecto al modelado mostrado que sólo es orientativo.

### 6.7.5.5 Ensamblaje hélice

El ensamblaje entre componentes de la hélice también será llevado a cabo por la compañía elegida para su reacondicionamiento o fabricación. De hecho, no se disponen de muchos datos relacionados con el ensamblaje de piezas de este sistema.

### 6.7.6 Ensamblaje cowlings

Al igual que en el caso del fuselaje, necesitaremos un útil de posicionamiento certificado para el modelo Mk IX del Spitfire. En este caso el útil debe estar convenientemente diseñado para alojar el portador de motor.

El primer paso será colocar todas las secciones en sus respectivos puntos de fijación, superponer los perfiles longitudinales y **taladrar** los agujeros de unión, de diámetro 3.18mm (secuencia 2.5-3.1mm más **escariado**). A continuación se retiran, limpian y pintan todos los elementos y se aplica el compuesto de unión JC5A donde proceda.

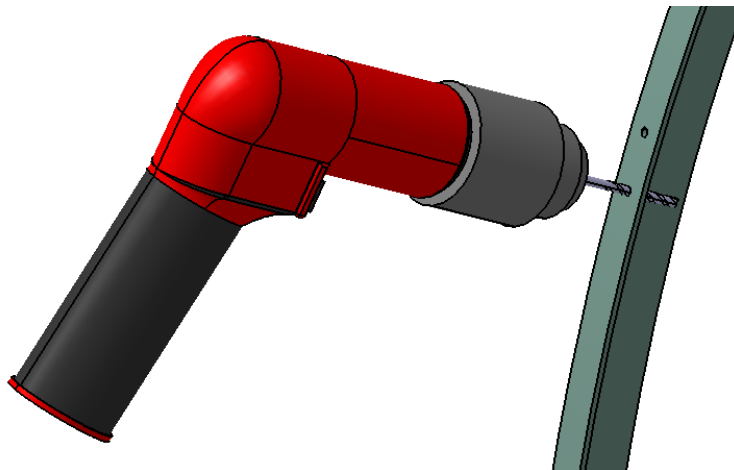


Figura 6-523. *Cowlings*: Taladrado de diámetro 3.18mm

Colocamos la sección 81 en su posición y acoplamos el portador de motor y el propio motor (incluyendo conductos de combustible y aceite, depósito de aceite...). Sucesivamente iremos colocando el resto de secciones y **pinzando** con clecos los perfiles de unión. Una vez tengamos todos los elementos correctamente posicionados, procedemos al **remachado indirecto** de las uniones.

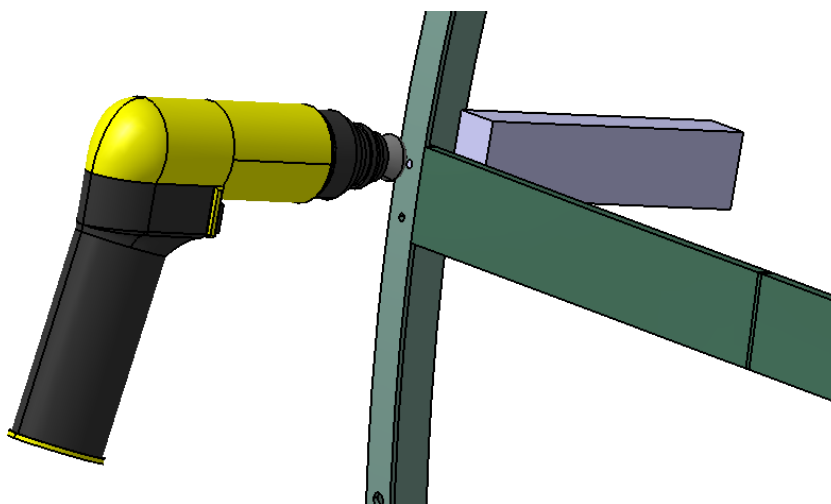


Figura 6-524. *Cowlings*: Remachado de las uniones entre secciones y perfiles

Nota: Se ha modelado un perfil longitudinal de forma aproximada para ilustrar la operación de remachado.

El siguiente paso es la colocación de las pieles, mediante un proceso muy similar al seguido en el fuselaje (apartado 6.6.10 *Ensamblaje del fuselaje*):

1. Se colocan las pieles sobre la estructura formada por secciones, perfiles longitudinales y portador de motor.
2. Se **taladran** las propias pieles, las secciones y los perfiles en los puntos de unión. El diámetro del agujero es 6mm (secuencia 2.5-3.1-5-6mm más **escariado**).

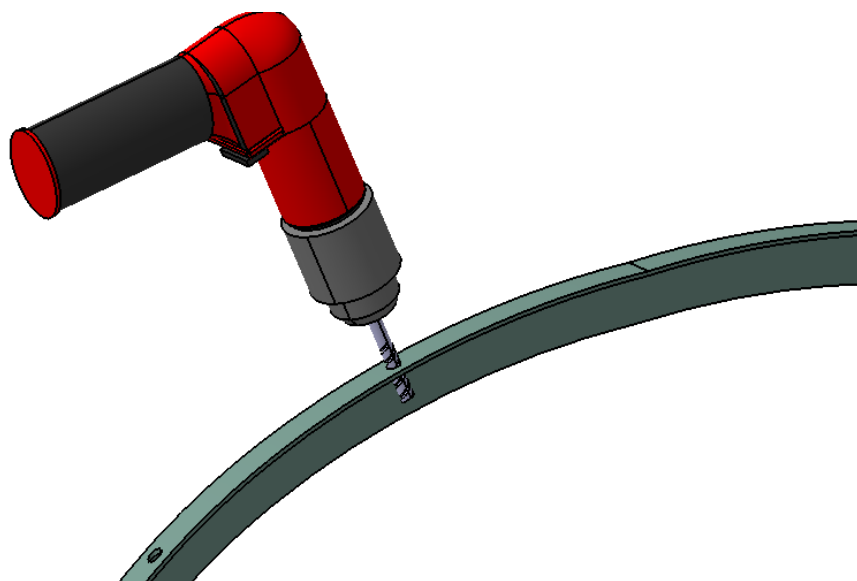


Figura 6-525. *Cowlings*: Taladrado de diámetro 6mm

3. Se **avellanan** los agujeros de las pieles para que las uniones especiales atornilladas queden a ras de la superficie.
4. Se pinta la cubierta exterior, se aplica el compuesto de unión y se efectúan las uniones.

Una vez colocadas las pieles, nos centramos en el ensamblaje de la hélice. Para ello primero debemos colocar la hélice entre las dos piezas del *spinner* y posteriormente unir estas dos piezas mediante **uniones atornilladas** de diámetro 5mm (apartado 6.7.4.3 *Spinner: Ensamblaje*).

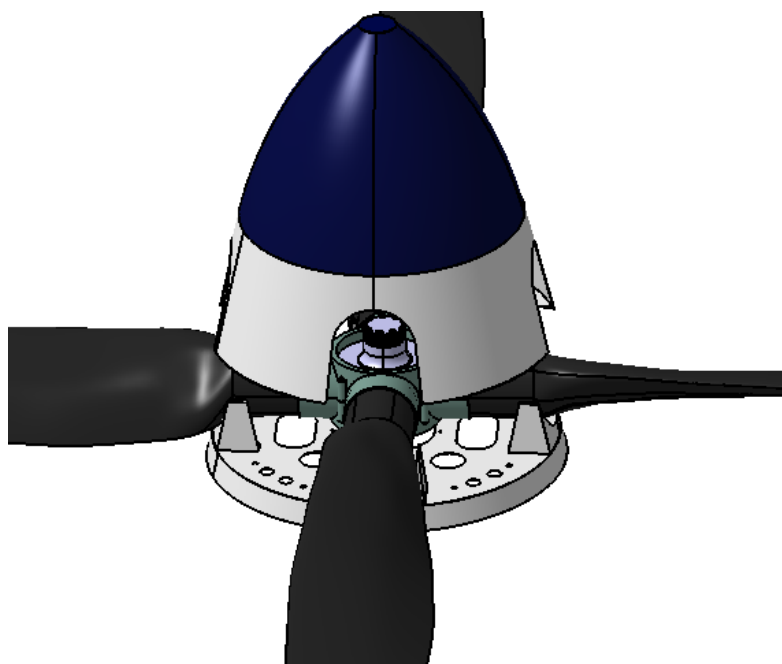


Figura 6-526. *Cowlings*: Unión hélice-*spinner*

Por último, unimos el conjunto hélice-*spinner* al resto de la estructura. Aunque sabemos que la unión se realiza entre la pieza 1 del *spinner* y la sección 0, desconocemos como es este tipo de unión, pero debe llevar algún plato oscilante. Esto lo intuimos, puesto que el *spinner* gira solidariamente con la hélice.

Nota: el modelado del perfil longitudinal, tornillos, tuercas, remaches y agujeros de la sección (vaciado) es una ampliación llevada a cabo como parte del TFM.

#### 6.7.6.1 Ensamblaje cowlings: Máquinas y herramientas utilizadas

Véase apartados 6.3.4 *Máquinas* y 6.3.5.5 *Herramientas seleccionadas*.

- Taladro tipo pistola.
  - Broca UNCETA A2 2297 D2.5.
  - Broca UNCETA A2 2297 D3.1.
  - Broca UNCETA A2 2297 D3.5.
  - Broca UNCETA A2 2060 D5.
  - Broca UNCETA A2 2060 D6.
  - Escariador UNCETA A6 6260 D3.1.
  - Escariador UNCETA A6 6260 D6.
  - Regulador micrométrico para la operación de avellanado.
- Remachadora tipo pistola.
  - Buterola adecuada para el remache de diámetro 3.18mm.
  - Sufridera o entibe adecuado para cada posición de remachado.

### 6.8 Canopy

Conjunto formado por dos armazones de aluminio que sirven de base para las superficies y paneles de cristal blindado. Su función es proporcionar protección al piloto frente a las condiciones externas, manteniendo la cabina aislada y presurizada, y frente a posibles proyectiles enemigos por ser un caza de guerra. Debe ser tan aerodinámica como sea posible para minimizar la resistencia aerodinámica.



Figura 6-527. *Canopy* del Spitfire Mk IX

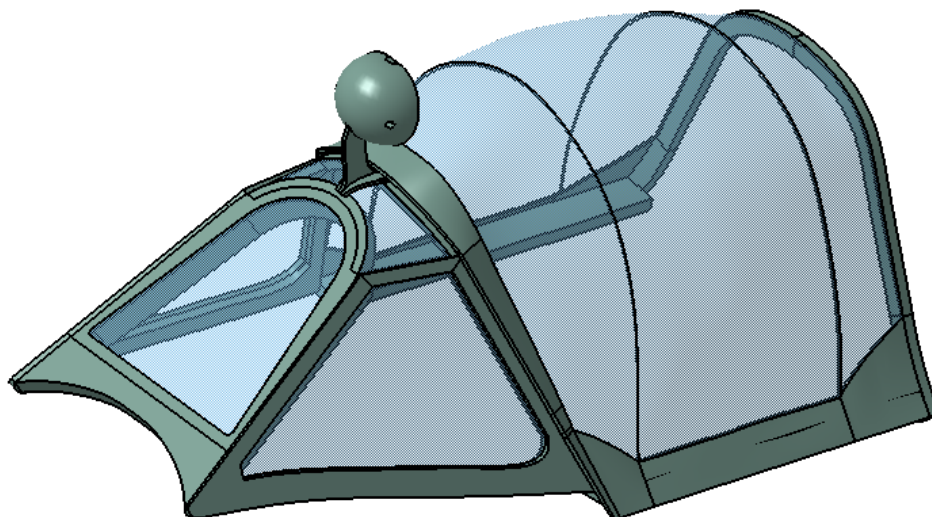


Figura 6-528. *Canopy* modelado en CATIA

### 6.8.1 Windscreen canopy

Es la parte fija de este módulo de la aeronave. Los cristales se encuentran a ras de la superficie externa del armazón de aluminio para garantizar el menor impacto posible en la corriente incidente. Como comentábamos anteriormente, se trata de cristales blindados de espesor 3mm (en el caso del cristal frontal el espesor es el doble).

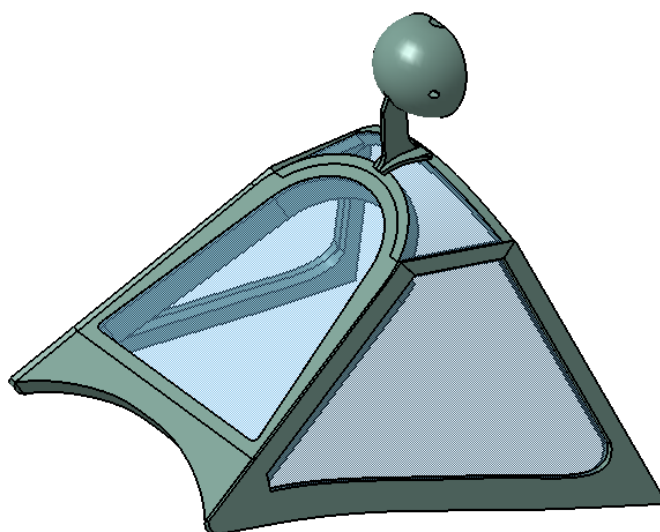


Figura 6-529. *Windscreen canopy* modelado en CATIA

A continuación simularemos la fabricación de algunos componentes de aluminio que pueden ser mecanizados en nuestra máquina CNC.



### 6.8.1.1 Windscreen canopy: Parte frontal

El primero de ellos es la parte frontal, para la que utilizaremos una preforma de dimensiones 386 x 473 x 54mm.

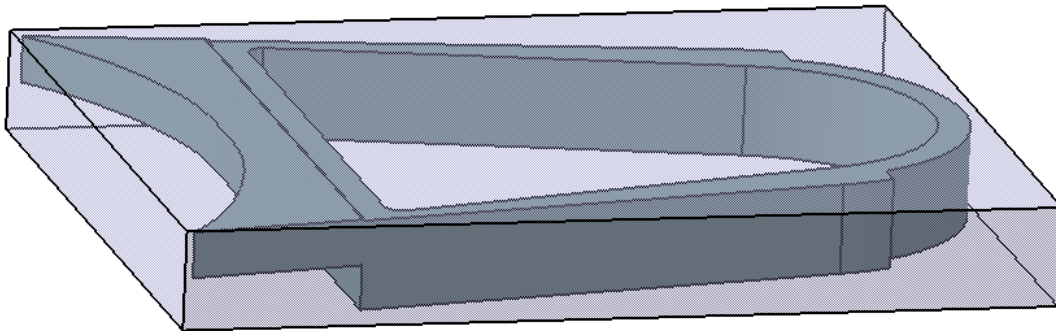


Figura 6-530. Parte frontal de *windscreen canopy*: Preforma

#### 1. Planeado por ambas caras (*Facing.1, Facing.2*):

- Estrategia de mecanizado:** Ida y vuelta con una pasada de desbaste y una de acabado.
- Geometría a mecanizar:** Caras superior e inferior de la preforma.
- Herramienta:** Fresa de planeado ASX400-100B10R de Mitsubishi Materials (Figura 6-28, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- Parámetros de corte:** Los definidos para mecanizado de aleaciones de aluminio con la herramienta de corte elegida (Figura 6-29, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- Macros:** Macros de aproximación, retirada y aclarado del usuario (6.4.1.7. *Macros en operaciones de mecanizado*).

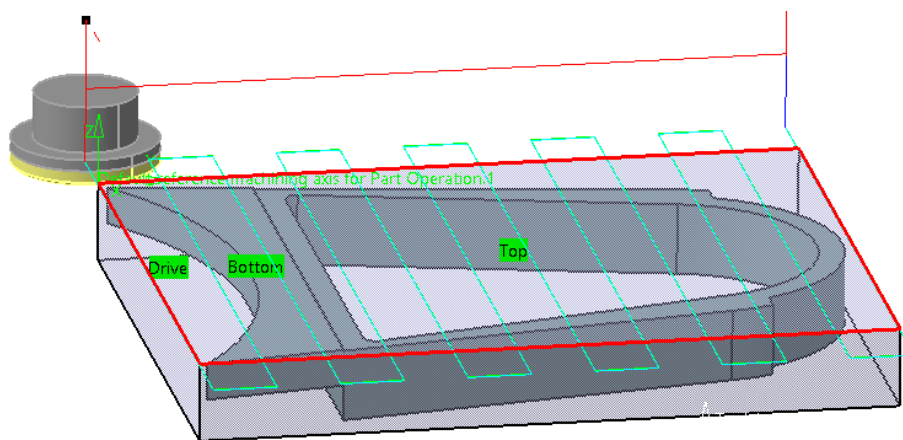


Figura 6-531. Parte frontal de *windscreen canopy*: Trayectoria de planeado

#### 2. Contorneado exterior (*Profile Contouring.1*):

- Estrategia de mecanizado:** Zig-zag con seis pasadas de desbaste y tres de acabado (mecanizado en dos niveles radiales y tres axiales con pasada de acabado en los tres axiales).
- Geometría a mecanizar:** Contorno exterior de la pieza.
- Herramienta:** Fresa periférico-frontal VQJHVD1200 de Mitsubishi Materials (Figura 6-32, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- Parámetros de corte:** Los definidos para mecanizado de aleaciones de aluminio con la herramienta de corte elegida (Figura 6-33, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- Macros:** Macros de aproximación, retirada y aclarado del usuario (6.4.1.7. *Macros en operaciones de mecanizado*).

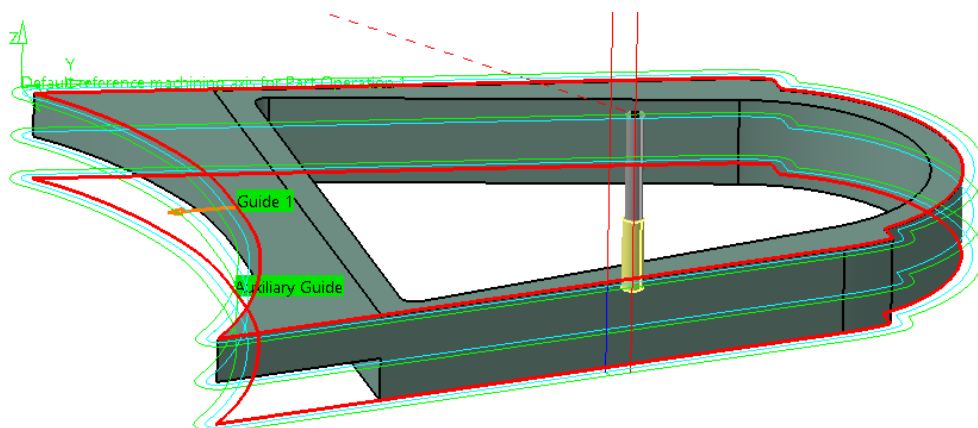


Figura 6-532. Parte frontal de *windscreen canopy*: Trayectoria de contorno exterior

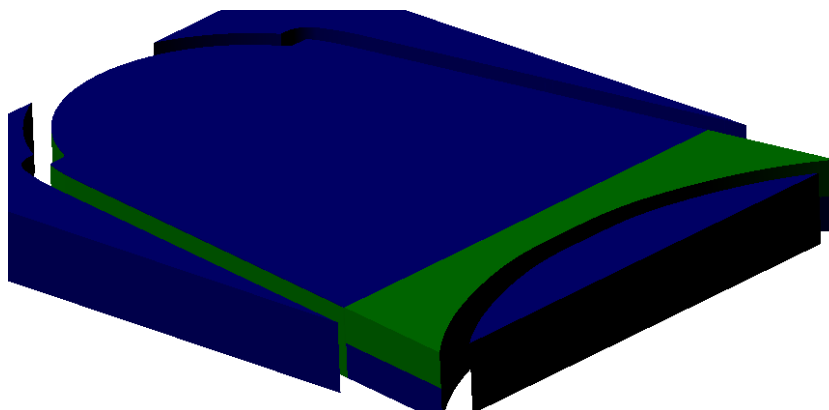


Figura 6-533. Parte frontal de *windscreen canopy*: Resultado de contorno exterior

### 3. Contorneado interior de la cara superior (*Profile Contouring.2- Profile Contouring.3*):

- a. **Estrategia de mecanizado:** Zig-zag con cuatro pasadas de desbaste y cuatro de acabado para la primera operación (mecanizado en cuatro niveles radiales con pasada de acabado en todos) y zig-zag con seis pasadas de desbaste y tres de acabado para la segunda (mecanizado en dos niveles radiales y tres axiales con pasada de acabado en los tres axiales).
- b. **Geometría a mecanizar:** Hueco central y escalón de la cara superior.
- c. **Herramienta:** Fresa periférico-frontal VQJHVD1200 de Mitsubishi Materials (Figura 6-32, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- d. **Parámetros de corte:** Los definidos para mecanizado de aleaciones de aluminio con la herramienta de corte elegida (Figura 6-33, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- e. **Macros:** Macros de aproximación, retirada y aclarado del usuario (6.4.1.7. *Macros en operaciones de mecanizado*).



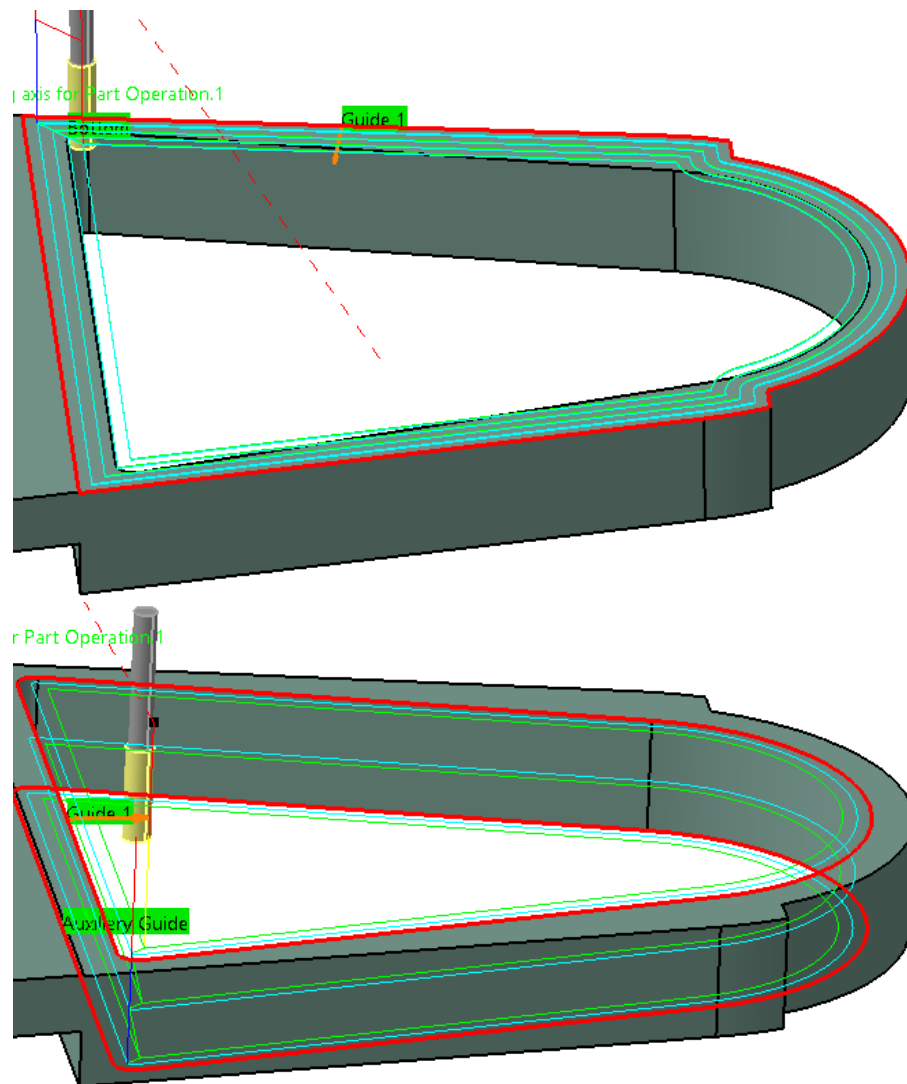


Figura 6-534. Parte frontal de *windscreen canopy*: Trayectoria de contorneado interior

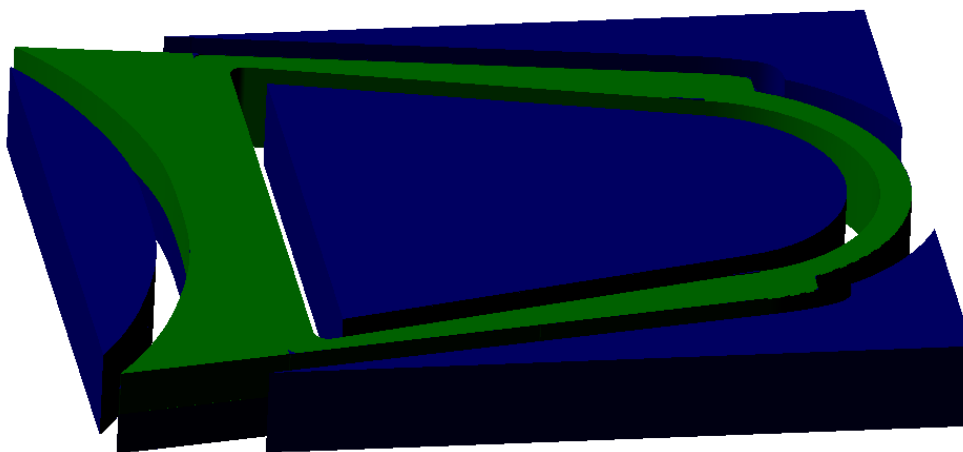


Figura 6-535. Parte frontal de *windscreen canopy*: Resultado de contorneado interior

#### 4. Vaciado cara inferior (*Pocketing.1*):

- Estrategia de mecanizado:** Helicoidal hacia fuera con cinco pasadas de desbaste y cinco de acabado (mecanizado en cinco niveles radiales con pasada de acabado en todos).
- Geometría a mecanizar:** Escalón de la cara inferior.
- Herramienta:** Fresa periférico-frontal VQJHVD1200 de Mitsubishi Materials (Figura 6-32,

apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).

- d. **Parámetros de corte:** Los definidos para mecanizado de aleaciones de aluminio con la herramienta de corte elegida (Figura 6-33, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- e. **Macros:** Macros de aproximación, retirada y aclarado del usuario (6.4.1.7. *Macros en operaciones de mecanizado*).

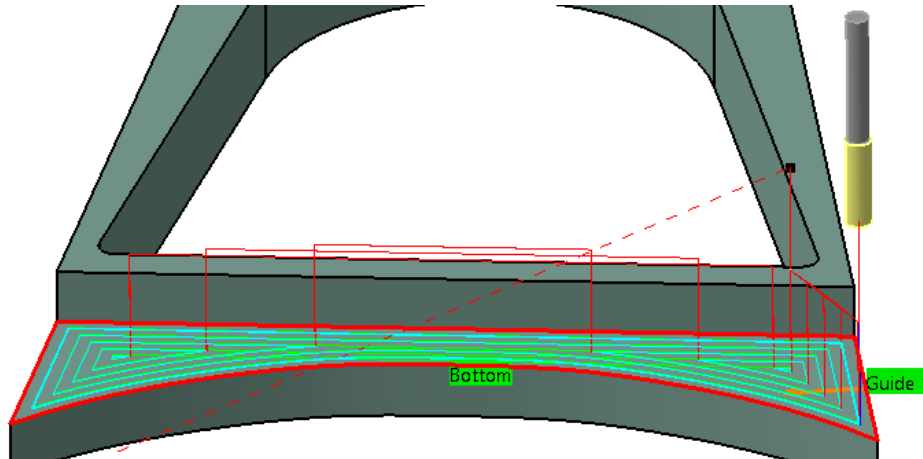


Figura 6-536. Parte frontal de *windscreen canopy*: Trayectoria de contorneado interior inferior

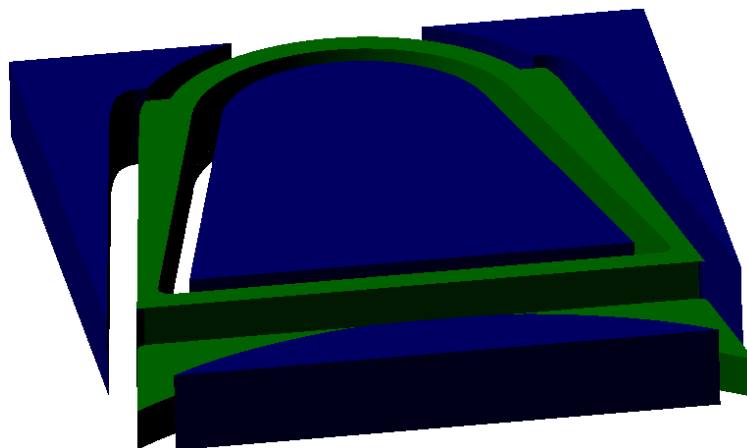


Figura 6-537. Parte frontal de *windscreen canopy*: Resultado de contorneado interior inferior

#### 6.8.1.2 Windscreen canopy: Parte lateral

El segundo componente es la superficie lateral (dos unidades), cuya preforma tiene dimensiones 626 x 369 x 24mm.

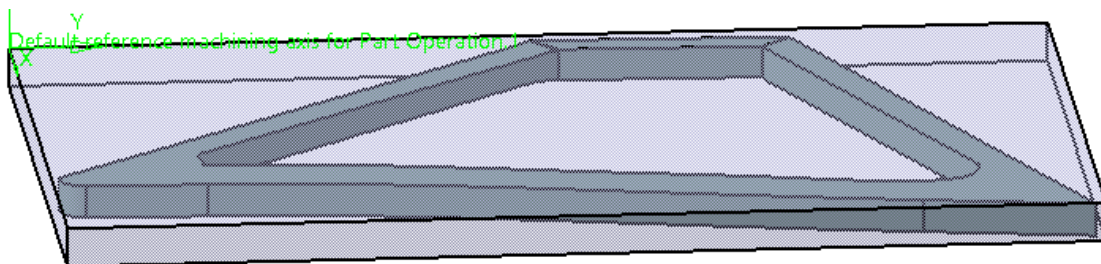


Figura 6-538. Parte lateral de *windscreen canopy*: Preforma

##### 1. Planeado por ambas caras (*Facing.1, Facing.2*):

- a. **Estrategia de mecanizado:** Ida y vuelta con una pasada de desbaste y una de acabado.
- b. **Geometría a mecanizar:** Caras superior e inferior de la preforma.

- c. **Herramienta:** Fresa de planeado ASX400-100B10R de Mitsubishi Materials (Figura 6-28, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- d. **Parámetros de corte:** Los definidos para mecanizado de aleaciones de aluminio con la herramienta de corte elegida (Figura 6-29, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- e. **Macros:** Macros de aproximación, retirada y aclarado del usuario (6.4.1.7. *Macros en operaciones de mecanizado*).

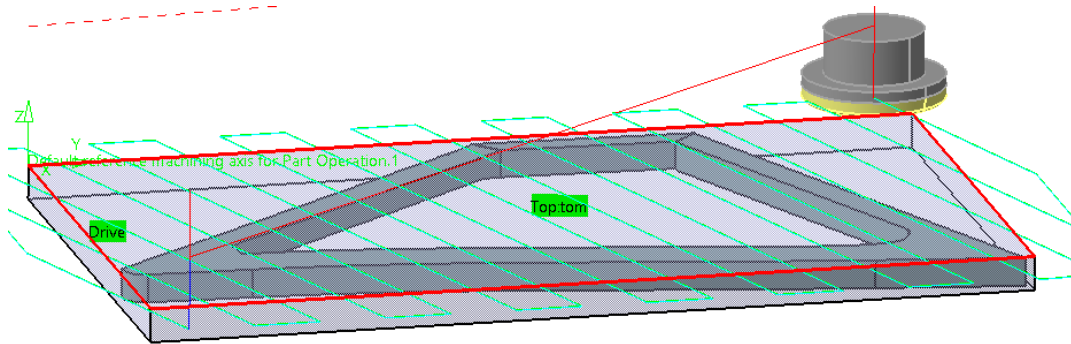


Figura 6-539. Parte lateral de *windscreen canopy*: Trayectoria de planeado

## 2. Contorneado exterior (*Profile Contouring.1*):

- a. **Estrategia de mecanizado:** Zig- zag con una pasada de desbaste y una de acabado.
- b. **Geometría a mecanizar:** Contorno exterior de la pieza.
- c. **Herramienta:** Fresa periférico-frontal VQJHVD1200 de Mitsubishi Materials (Figura 6-32, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- d. **Parámetros de corte:** Los definidos para mecanizado de aleaciones de aluminio con la herramienta de corte elegida (Figura 6-33, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- e. **Macros:** Macros de aproximación, retirada y aclarado del usuario (6.4.1.7. *Macros en operaciones de mecanizado*).

## 3. Contorneado interior (*Profile Contouring.2*):

- a. **Estrategia de mecanizado:** Zig- zag con una pasada de desbaste y una de acabado.
- b. **Geometría a mecanizar:** Contorno interior de la pieza.
- c. **Herramienta:** Fresa periférico-frontal VQJHVD1200 de Mitsubishi Materials (Figura 6-32, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- d. **Parámetros de corte:** Los definidos para mecanizado de aleaciones de aluminio con la herramienta de corte elegida (Figura 6-33, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- e. **Macros:** Macros de aproximación, retirada y aclarado del usuario (6.4.1.7. *Macros en operaciones de mecanizado*).

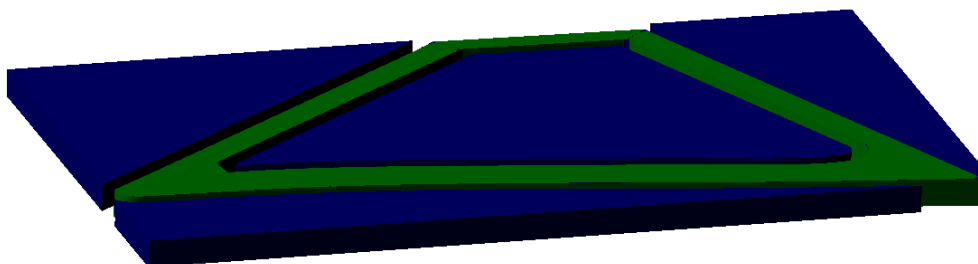


Figura 6-540. Parte lateral de *windscreen canopy*: Resultado de contorneado interior

#### 4. Vaciado de la cara inferior (*Pocketing.1*):

- Estrategia de mecanizado:** Zig- zag con dos pasadas de desbaste y dos de acabado (mecanizado en dos niveles radiales).
- Geometría a mecanizar:** Escalón de la cara inferior.
- Herramienta:** Fresa periférico-frontal VQJHVD1200 de Mitsubishi Materials (Figura 6-32, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- Parámetros de corte:** Los definidos para mecanizado de aleaciones de aluminio con la herramienta de corte elegida (Figura 6-33, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- Macros:** Macros de aproximación, retirada y aclarado del usuario (6.4.1.7. *Macros en operaciones de mecanizado*).

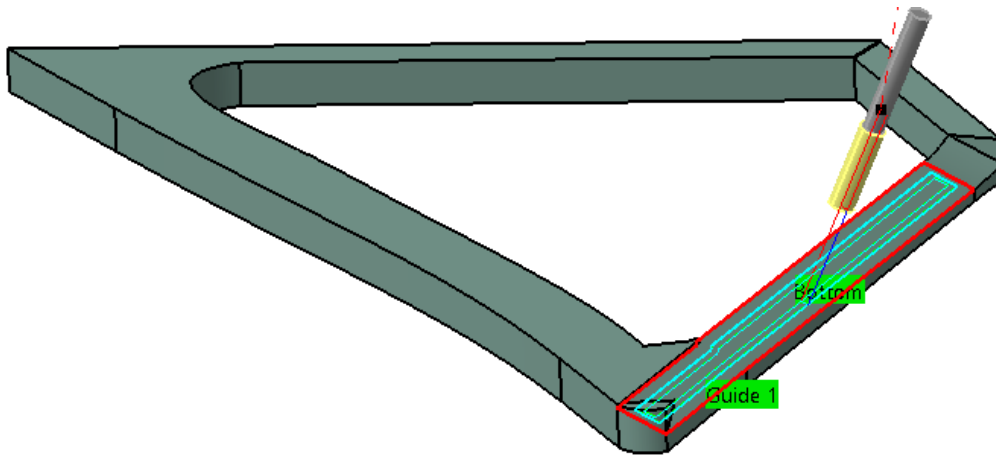


Figura 6-541. Parte lateral de *windscreen canopy*: Trayectoria de vaciado

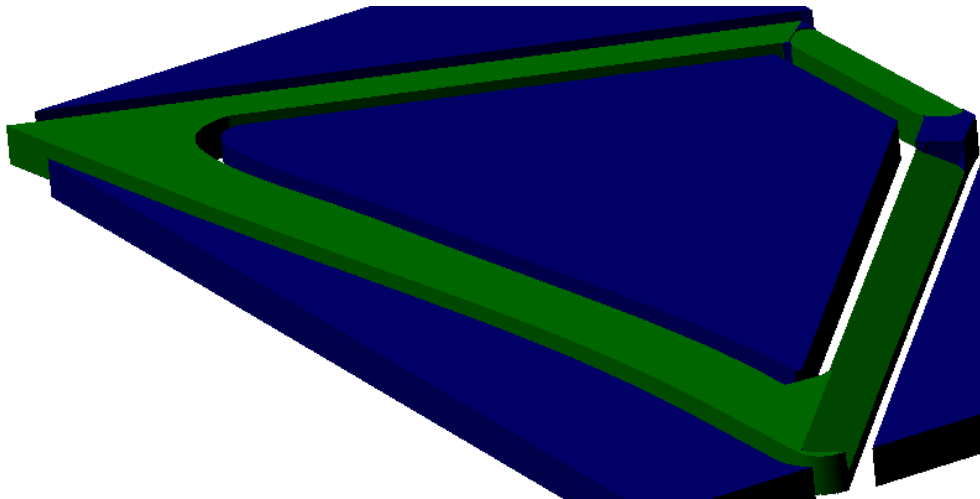


Figura 6-542. Parte lateral de *windscreen canopy*: Resultado de vaciado

#### 5. Fresado espiral (*Spiral milling.1*):

- Estrategia de mecanizado:** Ida y vuelta.
- Geometría a mecanizar:** Superficie curva de la cara inferior.
- Herramienta:** Fresa periférico-frontal AM2MBR0200A060 de Mitsubishi Materials (Figura 6-36, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- Parámetros de corte:** Los definidos para mecanizado de aleaciones de aluminio con la herramienta de corte elegida (Figura 6-37, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- Macros:** Macros definidas por defecto en CATIA.

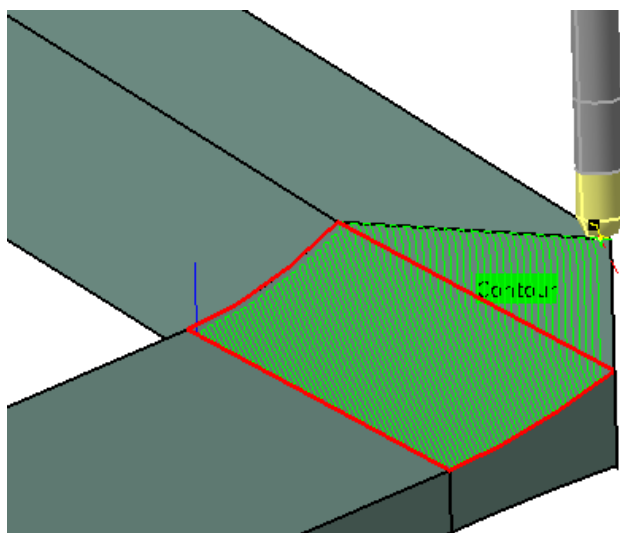


Figura 6-543. Parte lateral de *windscreen canopy*: Trayectoria de fresado espiral

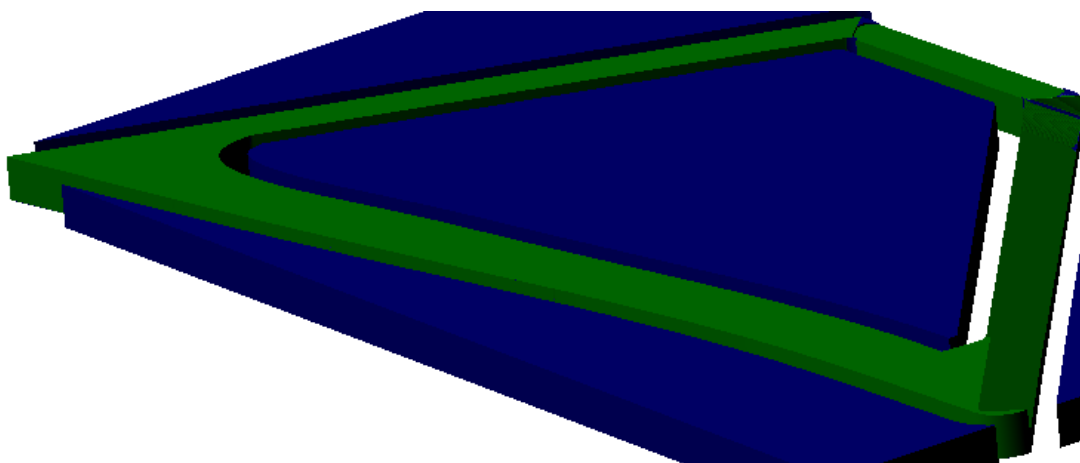


Figura 6-544. Parte lateral de *windscreen canopy*: Resultado de fresado espiral

### 6.8.1.3 Windscreen canopy: Partes superiores

Tenemos otros dos componentes, cuya fabricación sigue una secuencia muy simple (**planeado por ambas caras** y **contorneado exterior**) y no simularemos. Se muestran a continuación.

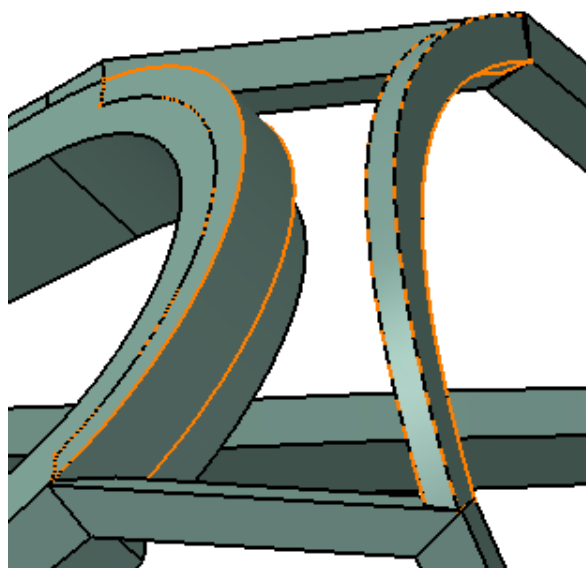


Figura 6-545. Componentes 3 y 4 de *windscreen canopy* modelados en CATIA

#### 6.8.1.4 Windscreen canopy: Espejo retrovisor

Por último, para el espejo retrovisor nos vale cualquiera con unas dimensiones adecuadas y cuyos puntos de fijación sean compatibles con el resto de la estructura. Sin embargo, podemos prescindir del espejo al tratarse un elemento decorativo. Concluimos por tanto que si no disponemos de un espejo que podamos restaurar, prescindiríamos de él (no se definen ni simulan operaciones de fabricación).

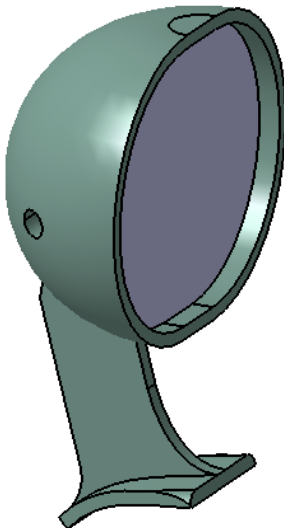


Figura 6-546. Espejo retrovisor de *windscreen canopy* modelado en CATIA

#### 6.8.1.5 Windscreen canopy: Cristales blindados

Para la fabricación de los cristales blindados y sus sujeciones acudiremos a una compañía especializada y con experiencia previa en el mundo de la aeronáutica.

### 6.8.2 Sliding hood

Es la parte móvil, que desliza sobre unos raíles existentes en el fuselaje, ya sea para sellar la cabina o para abrirla y así facilitar el acceso del piloto a la misma.

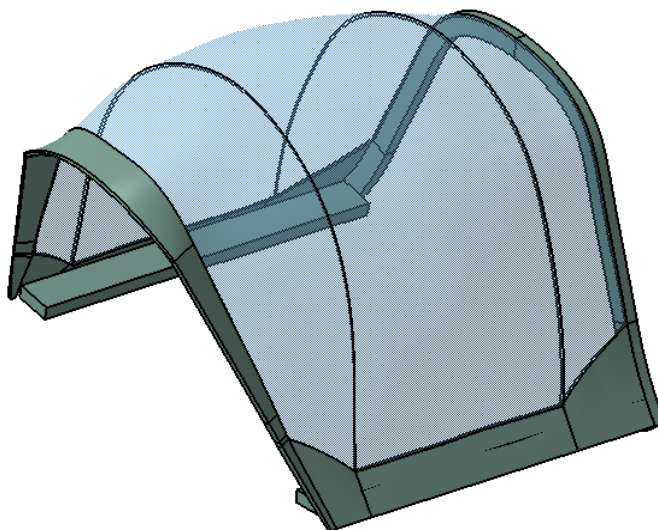


Figura 6-547. *Sliding hood* modelado en CATIA

La fabricación de la superficie curva de aluminio de esta parte de la aeronave sigue un proceso similar al definido para la cubierta del fuselaje, es decir, **laminación**, **corte**, **estirado** y **conformado rotativo** de chapa. Para el estirado y conformado rotativo hacemos uso de matrices y moldes especialmente diseñados y certificados por la Autoridad de Aviación Civil correspondiente. Para las piezas que se deslizan por los raíles simplemente hacemos operaciones de **planeado** y **contorneado**.



Tal y como ocurría para el *windscreen canopy*, la fabricación de componentes de cristal y sus sujeciones la dejamos en manos expertas.

### 6.8.3 Ensamblaje canopy

Lo primero que debemos destacar es la inexistencia de uniones entre *windscreen canopy* y *sliding hood*. Ambas partes se unen directamente con el fuselaje en el ensamblaje final de la aeronave y su diseño está perfectamente calculado para el correcto sellado de la cabina del piloto.

Por tanto, en este apartado describiremos el ensamblaje de las diferentes partes metálicas de *windscreen canopy* y *sliding hood*. No trataremos el ensamblaje de los cristales blindados por desconocimiento de los procesos implicados para este material y de los métodos de sujeción usados. Tampoco el del espejo retrovisor.

- **Windscreen canopy:** Los componentes 3 y 4 se unen por **soldadura** a la parte frontal y lateral respectivamente. También se podrían considerar en los planos de fabricación de estas partes, aunque dificulten el proceso.

Para la unión de las partes frontal y lateral entre sí, se harán siete **taladros** de diámetro 3.18mm (secuencia 2.5-3.1mm más **escariado**), seguidos de operaciones de **avellanado** para asegurar que los remaches queden a ras de la superficie.

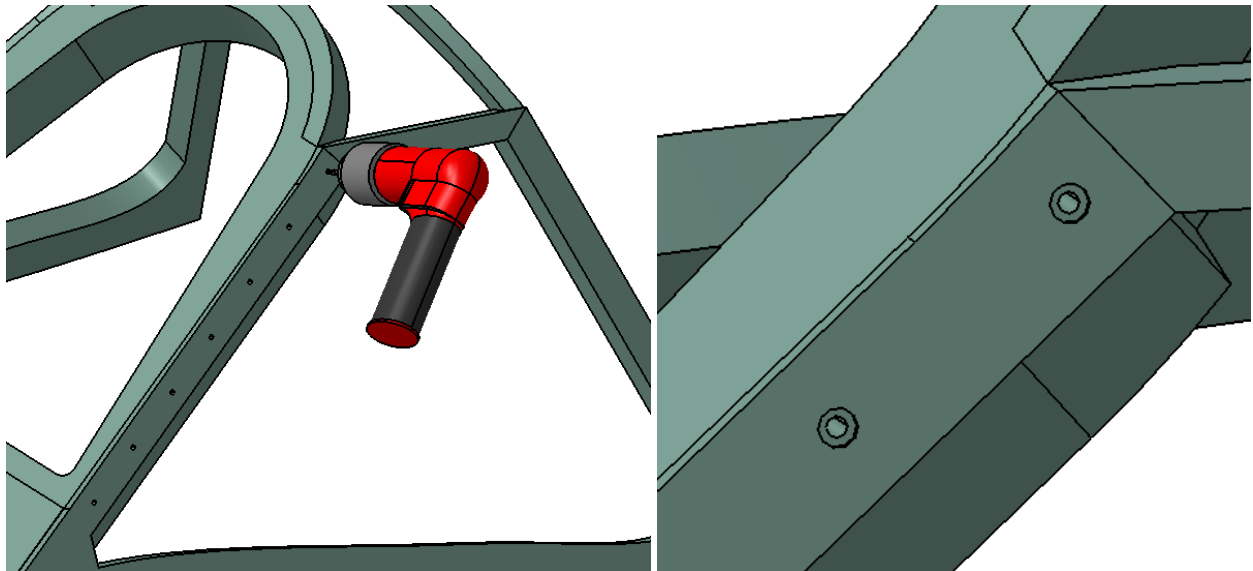


Figura 6-548. *Windscreen canopy*: Taladrado de diámetro 3.18mm y avellanado

El siguiente paso será remachar las uniones (remaches ciegos de diámetro 3.18mm y diámetro de la cabeza 5.84mm).

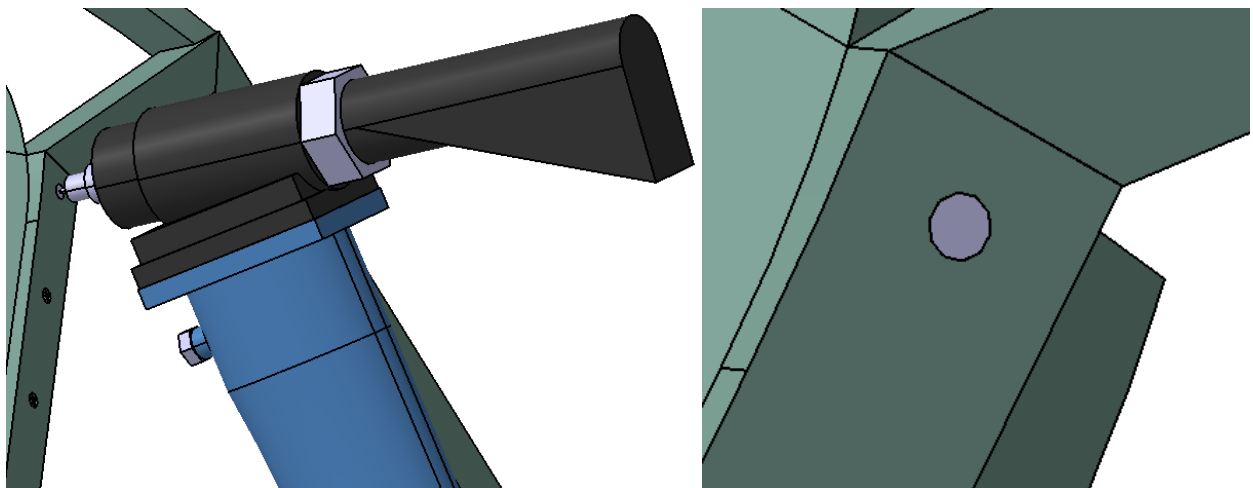


Figura 6-549. *Windscreen canopy*: Remachado

- **Sliding hood:** En este caso la única operación de ensamblaje que podemos llevar a cabo es la unión soldada entre la superficie curva y la relacionada con los raíles.

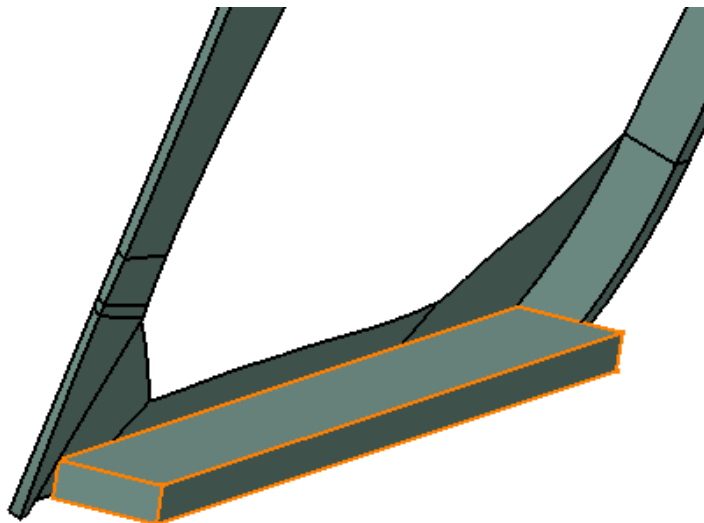


Figura 6-550. *Sliding hood*: Unión soldada

Nota: el modelado de remaches y de los agujeros de las partes frontal y lateral (vaciado de superficies) es una ampliación llevada a cabo como parte del TFM.

#### 6.8.3.1 Ensamblaje canopy: Máquinas y herramientas utilizadas

Véase apartados **6.3.4 Máquinas** y **6.3.5.5 Herramientas seleccionadas**.

- Taladro tipo pistola.
  - Broca UNCETA A2 2297 D2.5.
  - Broca UNCETA A2 2297 D3.1.
  - Escariador UNCETA A6 6260 D3.1.
  - Regulador micrométrico para la operación de avellanado.
- Remachadora neumática para remaches ciegos.
  - Boquilla adecuada para el remache.



## 6.9 Cola

La cola es la parte posterior de la aeronave y está formada básicamente por dos superficies, una horizontal y otra vertical. Ambas disponen de partes fijas, cuya función es estabilizar el avión cuando se desequilibra, y partes móviles que controlan el movimiento de cabeceo y guiñada.



Figura 6-551. Cola del Spitfire Mk IX

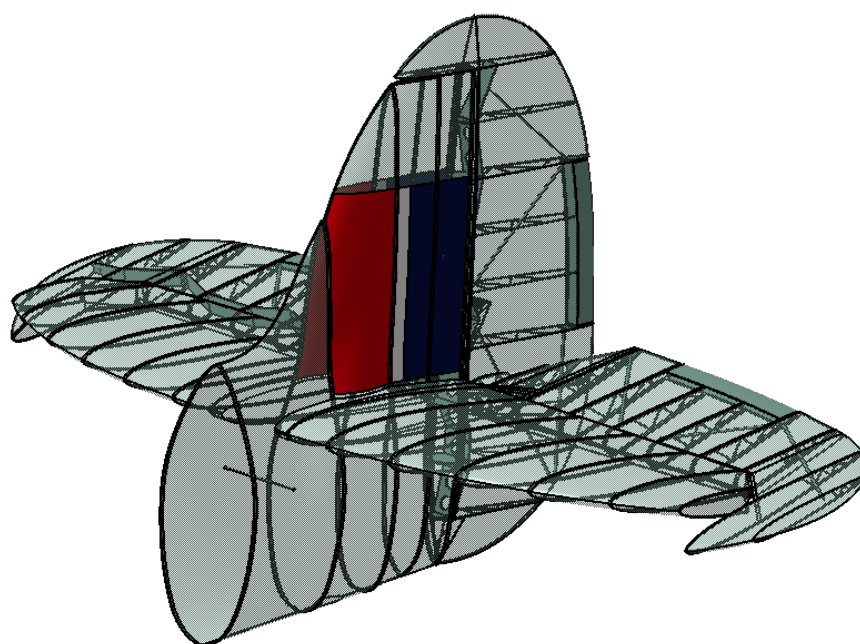


Figura 6-552. Cola modelada en CATIA

### 6.9.1 Primeros pasos de la restauración

Antes de iniciar la reparación o la fabricación de piezas que sustituyan a las que falten o estén dañadas, es necesario evaluar el estado de los diferentes componentes. Por ello el primer paso es desmontar los timones de profundidad y dirección para asegurarnos el acceso a ambos estabilizadores, pudiendo evaluar su estado, aunque en estas partes importa principalmente la degradación que hayan podido sufrir las pieles que sirven de revestimiento.

Más exhaustivo debe ser el análisis que realicemos a los timones, ya que las costillas han podido acumular defectos con el paso del tiempo. Para ello, debemos evitar tirar directamente de las pieles, ya que podemos provocar deformaciones importantes en las costillas. La manera correcta de proceder es cortar las costuras existentes alrededor de una costilla, tirar hasta llegar a la siguiente y repetir el proceso hasta su completo desmontaje. Consecuentemente, las pieles deberán ser sustituidas por nuevos ejemplares en el proceso de reacondicionamiento de la aeronave.

Nota: Aprovechamos para recordar que los timones de dirección y profundidad están cubiertos por pieles de tela, aunque aparentemente pueda parecer metal. Por eso hablamos de cortar costuras.

## 6.9.2 Fin fuse

En lo que a la estructura del avión se refiere, se trata del estabilizador vertical de la aeronave y una continuación del fuselaje.

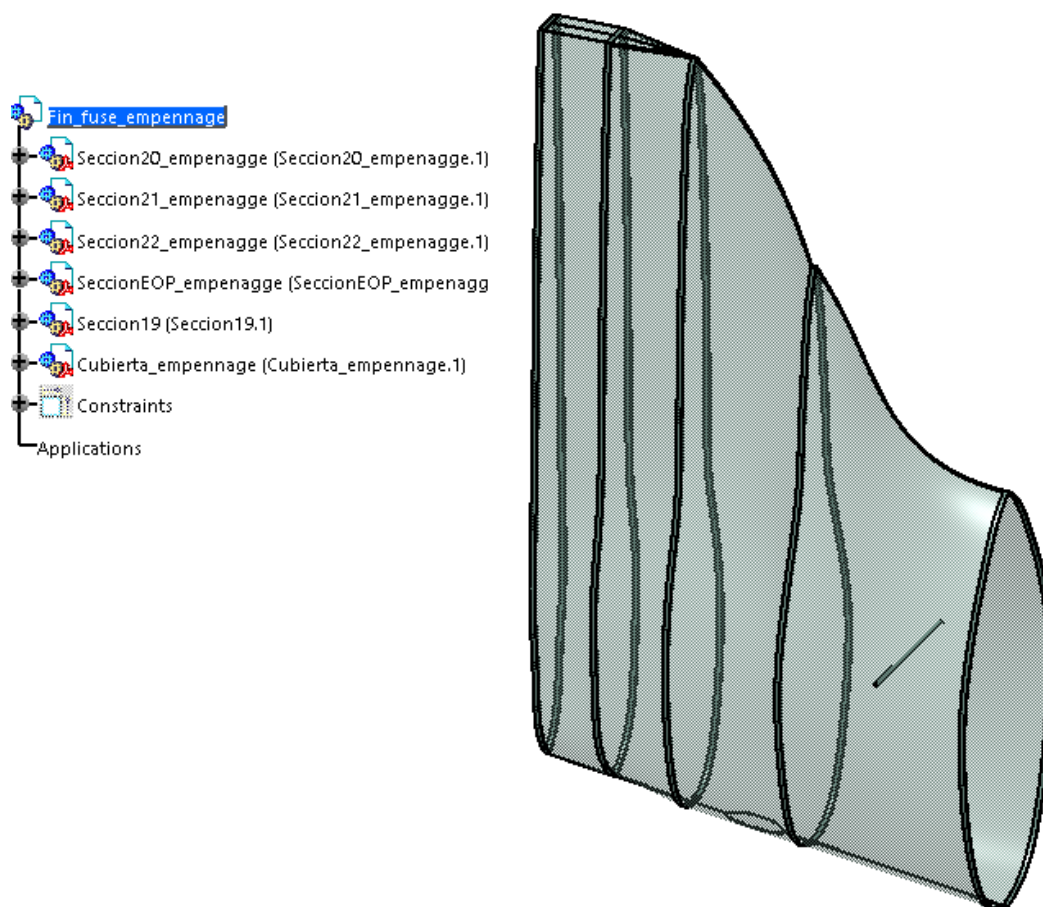


Figura 6-553. *Fin fuse* modelado en CATIA

### 6.9.2.1 Fin fuse: Secciones

El estabilizador vertical está conformado por cinco secciones vacías (19, 20, 21, 22 y EOP) cuyo proceso de fabricación es el mismo. Tomaremos la sección 20 para ilustrar las operaciones de fabricación necesarias.

Partiendo de una preforma de dimensiones adecuadas y espesor 12mm, la secuencia de mecanizado es la que se muestra.



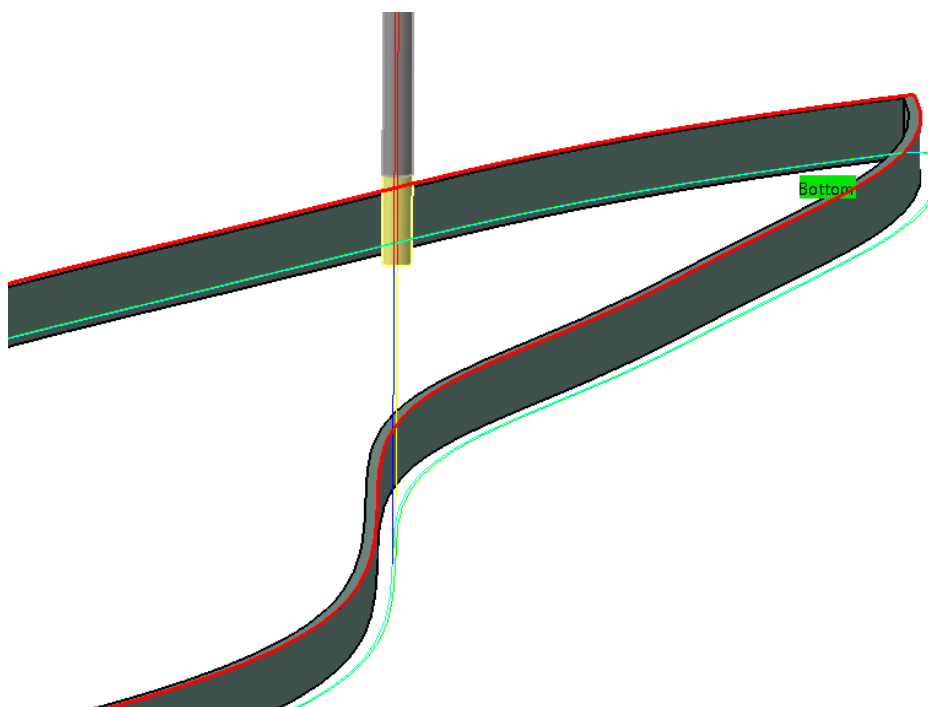


Figura 6-556. Sección 20: Trayectoria de contorno exterior

### 3. Contorneado interior (*Profile Contouring.2*):

- a. **Estrategia de mecanizado:** Zig- zag con una pasada de desbaste y una de acabado.
- b. **Geometría a mecanizar:** Contorno interior de la pieza.
- c. **Herramienta:** Fresa periférico-frontal AM2MRD0500A060 de Mitsubishi Materials (Figura 6-34, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- d. **Parámetros de corte:** Los definidos para mecanizado de aleaciones de aluminio con la herramienta de corte elegida (Figura 6-35, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- e. **Macros:** Macros de aproximación, retirada y aclarado del usuario (6.4.1.7. *Macros en operaciones de mecanizado*).

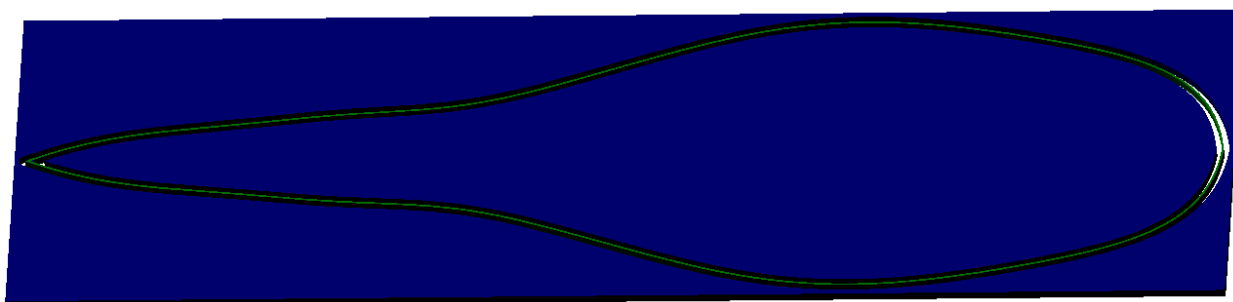


Figura 6-557. Sección 20: Resultado de contorno

#### 6.9.2.2 Fin fuse: Cubierta

La cubierta del estabilizador vertical se obtiene mediante **laminación, corte, estirado y conformado rotativo** de chapa de espesor variable entre 0.711mm y 0.914mm (para determinados compartimentos). Para las operaciones de estirado y conformado rotativo son necesarios útiles certificados por la Autoridad de Aviación Civil correspondiente.

Al igual que ocurría para la cubierta del fuselaje, la función de la cubierta del estabilizador vertical es proteger el interior de la aeronave y reducir la resistencia aerodinámica.

Recuperando la disposición de las pieles, observamos las diferencias entre el avión real y el modelado CATIA, donde las pieles se disponen entre secciones sucesivas y no se tienen en cuenta puertas y compartimentos.



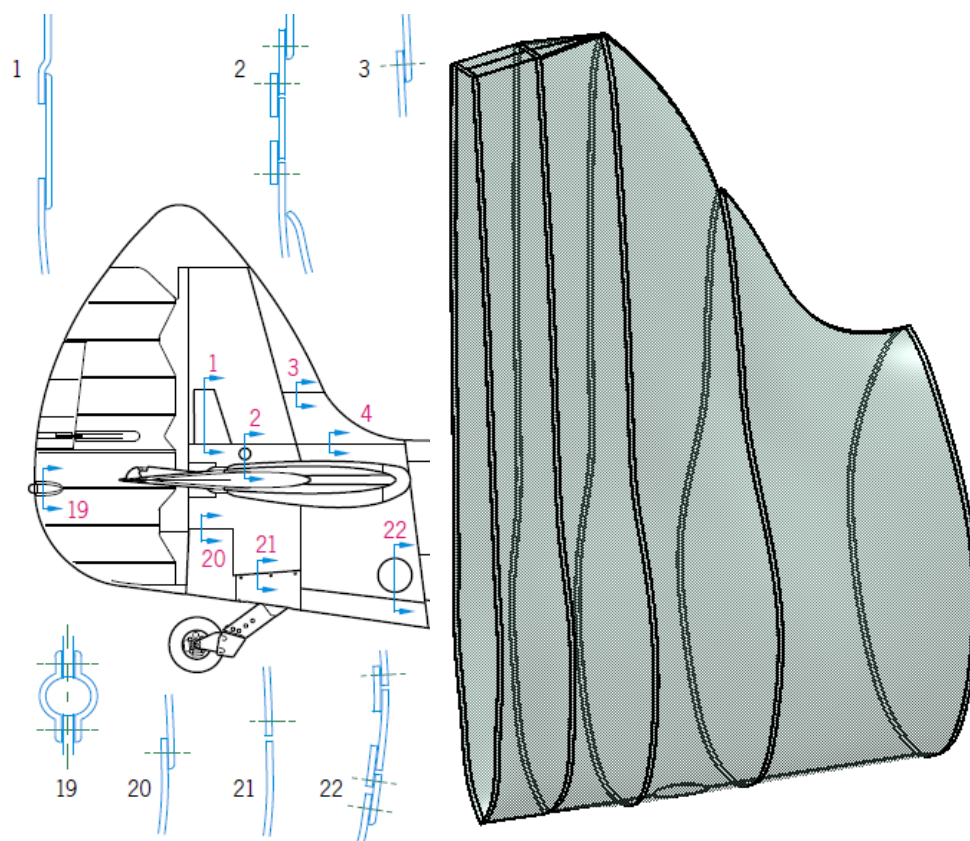


Figura 6-558. *Fin fuse*: Cubierta real y cubierta modelada en CATIA

### 6.9.2.3 Ensamblaje fin fuse

Para el ensamblaje del estabilizador vertical nuevamente haremos uso de un útil de posicionamiento debidamente calibrado y certificado. Una vez colocadas las secciones, se superponen los larguerillos de unión (no modelados en el TFG) y se realizan los convenientes agujeros de unión de diámetro 3.18mm (**taladrado** 2.5-3.1mm más **escariado**).

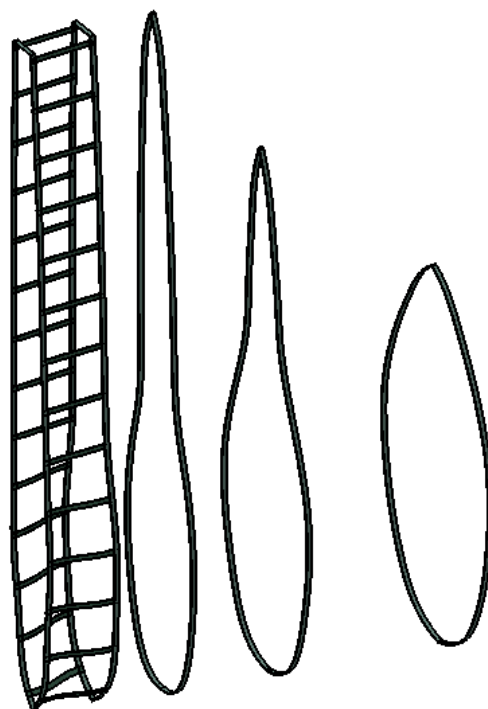


Figura 6-559. *Fin fuse*: Colocación de secciones y de larguerillos entre secciones EOP y 22

Nota: Se ilustra la colocación de los larguerillos y su fijación (operaciones de taladrado y remachado) a partir de los larguerillos existentes entre las secciones EOP y 22. Se procedería de igual manera con el resto de la estructura.

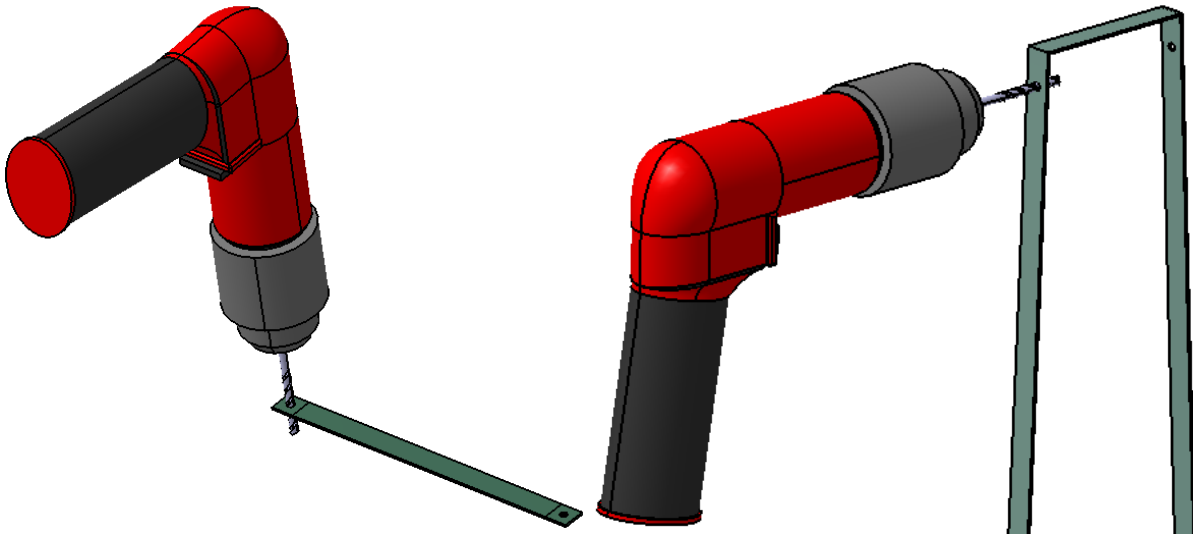


Figura 6-560. *Fin fuse*: Taladrado de larguerillos y secciones para su unión

Posteriormente se retiran los componentes, se limpian y pintan y se aplica el compuesto de unión en las zonas de contacto. **Pinzamos** las uniones y comenzamos el **remachado indirecto** de las partes.

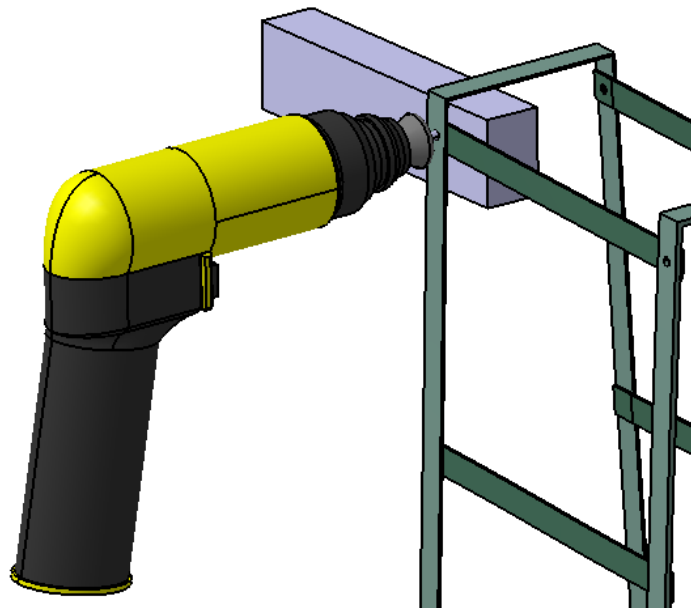


Figura 6-561. *Fin fuse*: Remachado de las uniones entre secciones y larguerillos

Para las pieles seguimos un proceso muy similar al del fuselaje (apartado **6.6.10 Ensamblaje del fuselaje**):

1. **Taladramos** los agujeros de unión de secciones y pieles, de diámetro 3.18mm (secuencia 2.5-3.1mm más **escariado**).
2. **Pinzamos** estas uniones.
3. **Taladramos** pieles y larguerillos en los puntos de unión. Nuevamente el diámetro es 3.18mm (secuencia 2.5-3.1mm más **escariado**).
4. **Avellanamos** los agujeros de las pieles para que los remaches queden a ras de la superficie.
5. Se limpian y pintan los componentes y se aplica el compuesto de unión en las zonas de contacto.
6. **Pinzamos** todas las uniones y procedemos con las labores de **remachado** (mayoritariamente con

remaches ciegos).

Nota: el modelado de larguerillos, agujeros de las secciones y remaches es una ampliación llevada a cabo como parte del TFM.

#### 6.9.2.3.1 Ensamblaje fin fuse: Máquinas y herramientas utilizadas

Véase apartados 6.3.4 *Máquinas* y 6.3.5.5 *Herramientas seleccionadas*.

- Taladro tipo pistola.
  - Broca UNCETA A2 2297 D2.5.
  - Broca UNCETA A2 2297 D3.1.
  - Escariador UNCETA A6 6260 D3.1.
  - Regulador micrométrico para la operación de avellanado.
- Remachadora tipo pistola.
  - Buterola adecuada para el remache de diámetro 3.18mm.
  - Sufridera o entibe adecuado para cada posición de remachado.
- Remachadora neumática para remaches ciegos.
  - Boquilla adecuada para el diámetro del remache.

### 6.9.3 Timón de dirección

Encargado de controlar el movimiento de guiñada del avión. Existen dos modelos: *standard chord rudder* o *broad chord rudder*.

En el trabajo de base modelamos el modelo *standard*, puesto que es el más habitual en los ejemplares de Spitfire Mk IX y, por tanto, será el modelo que fabricaremos.

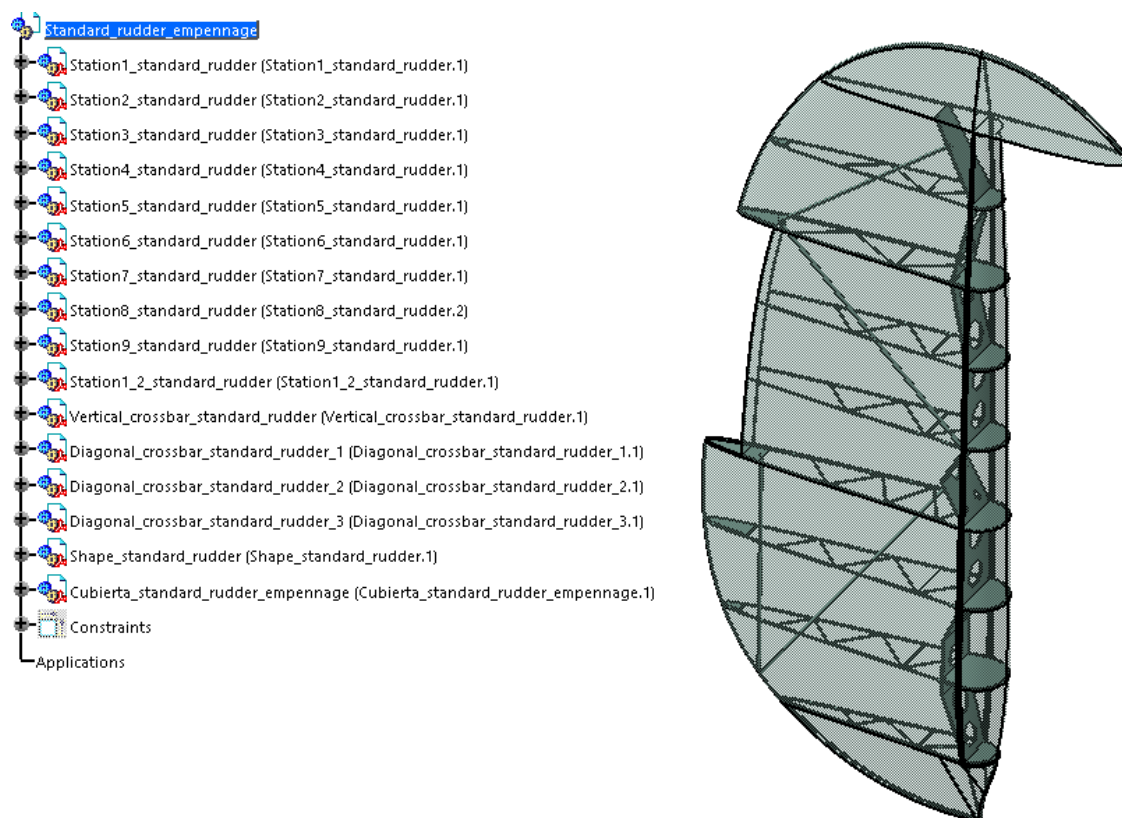


Figura 6-562. Timón de dirección modelado en CATIA

### 6.9.3.1 Timón de dirección: Estaciones

Nos centramos en la estación 7 para ilustrar el proceso de fabricación de una pieza de estas características.

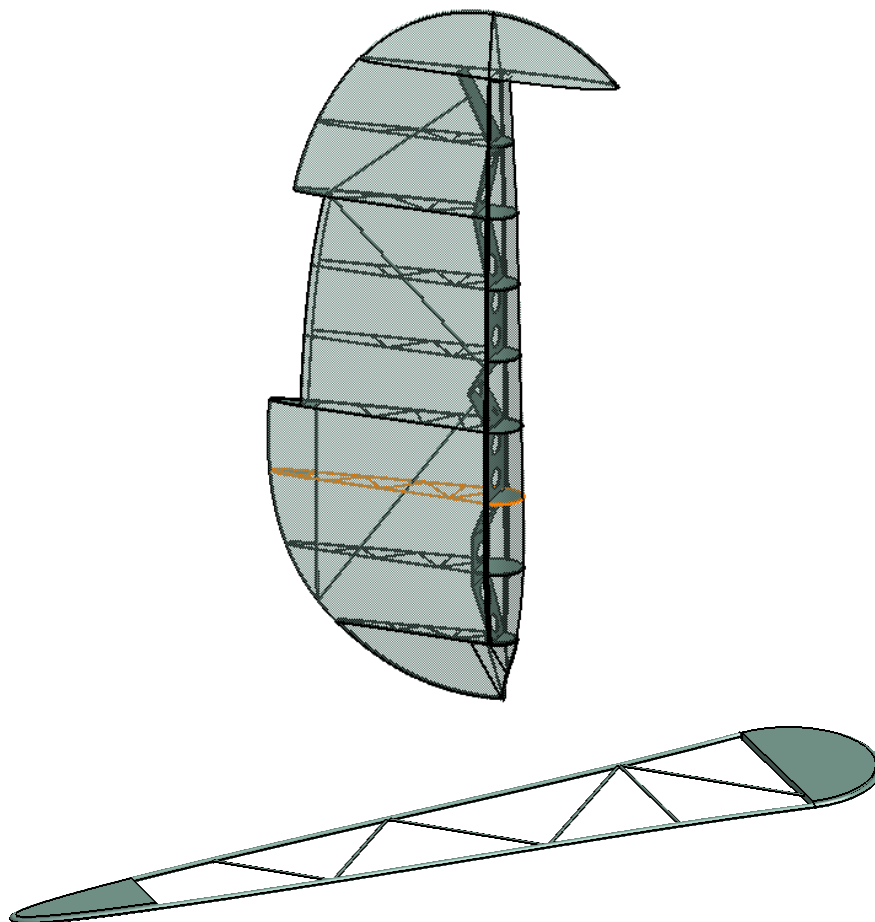


Figura 6-563. Timón de dirección: Estación 7

La pieza es un conjunto compuesto por una serie de barras y placas remachadas. Las barras interiores son de diámetro 2mm, mientras que la barra que delimita el contorno es de diámetro 4mm. Para obtenerlas hacemos las siguientes operaciones:

1. **Laminación:** Por laminación obtenemos una barra de dimensiones mayores a las finales.
2. **Torneado:** La barra obtenida anteriormente se mecaniza por torneado.
  - a. **Refrentado** de la superficie delantera.
  - b. **Cilindrado** de diámetro 2 ó 4mm según proceda.
  - c. **Tronzado** para cortar la barra de acuerdo a su longitud final.
3. **Doblado de barra:** En el caso de la barra que delimita el contorno, debemos doblarla de acuerdo a su forma final y soldar el extremo.

Las placas, de espesor 5mm, se obtienen mecanizando en CNC a partir de preformas de dimensiones adecuadas y espesor 7mm.



Figura 6-564. Estación 7 del timón de dirección: Preformas de las placas

La secuencia de mecanizado es la que sigue:



### 1. Planeado por ambas caras (*Facing.1, Facing.2*):

- Estrategia de mecanizado:** Ida y vuelta con una pasada de desbaste y una de acabado.
- Geometría a mecanizar:** Caras superior e inferior de la preforma.
- Herramienta:** Fresa de planeado ASX400-100B10R de Mitsubishi Materials (Figura 6-28, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- Parámetros de corte:** Los definidos para mecanizado de aleaciones de aluminio con la herramienta de corte elegida (Figura 6-29, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- Macros:** Macros de aproximación, retirada y aclarado del usuario (6.4.1.7. *Macros en operaciones de mecanizado*).

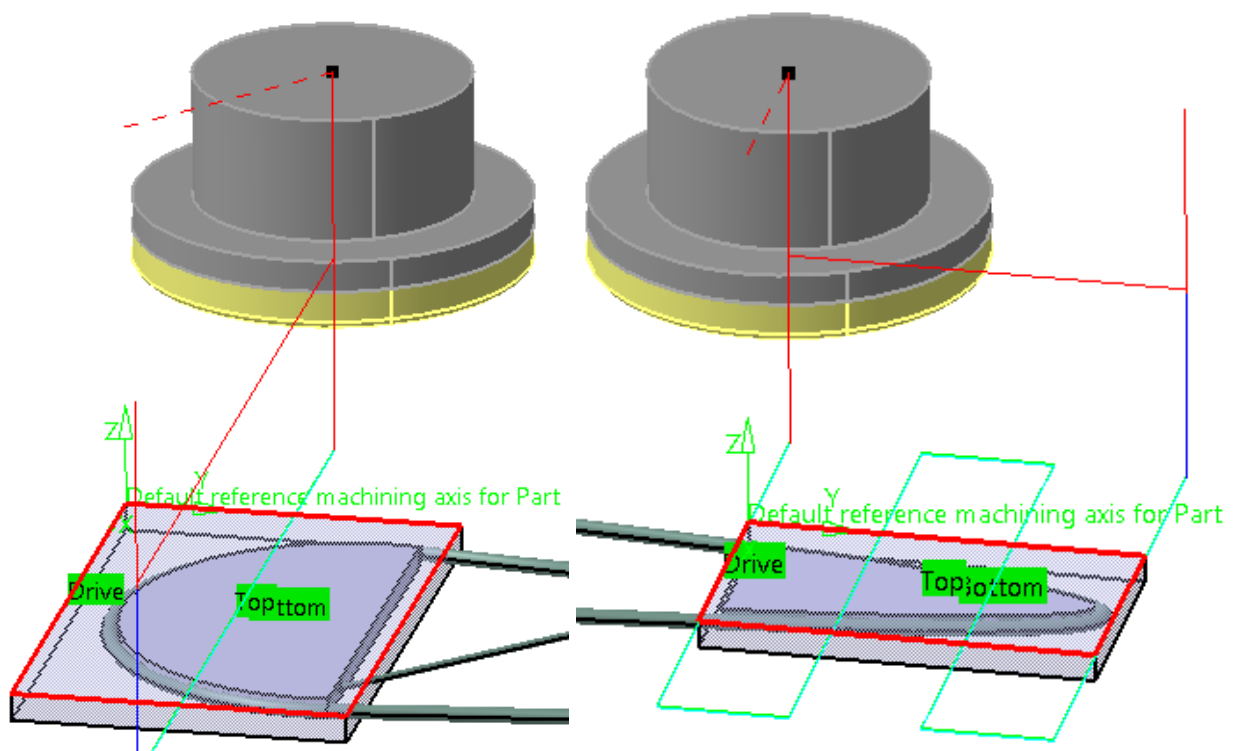


Figura 6-565. Estación 7 del timón de dirección: Trayectoria de planeado

### 2. Contorneado (*Profile Contouring.1*):

- Estrategia de mecanizado:** Zig- zag con una pasada de desbaste y una de acabado.
- Geometría a mecanizar:** Contorno exterior de la pieza.
- Herramienta:** Fresa periférico-frontal AM2MRD0500A060 de Mitsubishi Materials (Figura 6-34, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- Parámetros de corte:** Los definidos para mecanizado de aleaciones de aluminio con la herramienta de corte elegida (Figura 6-35, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- Macros:** Macros de aproximación, retirada y aclarado del usuario (6.4.1.7. *Macros en operaciones de mecanizado*).

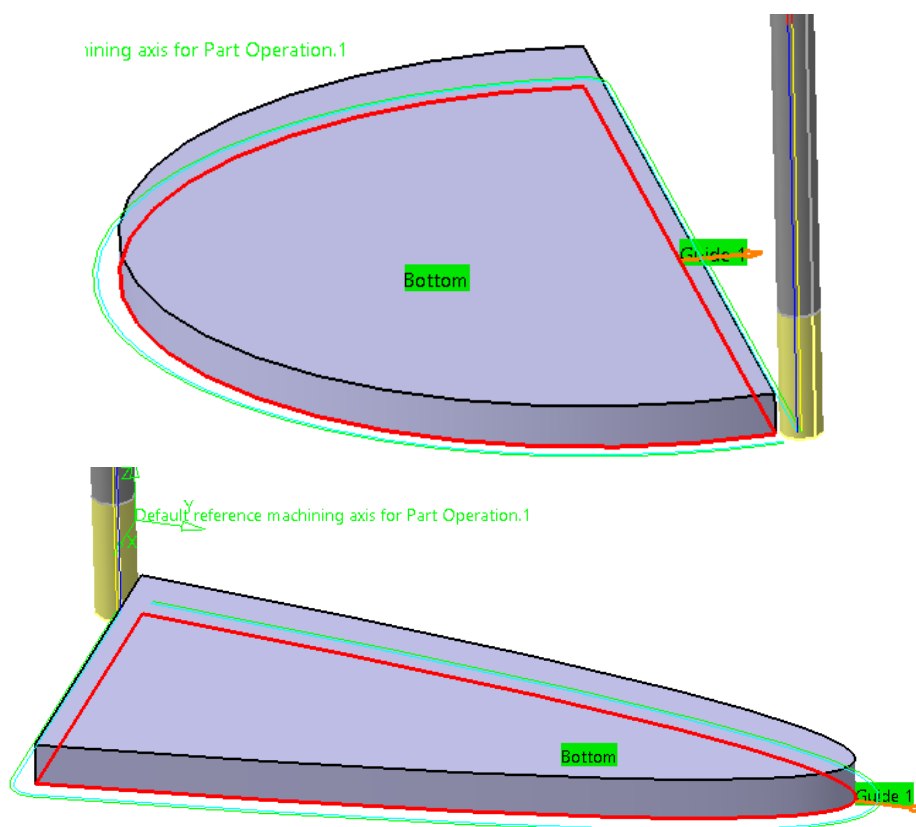


Figura 6-566. Estación 7 del timón de profundidad: Trayectoria de contorneado

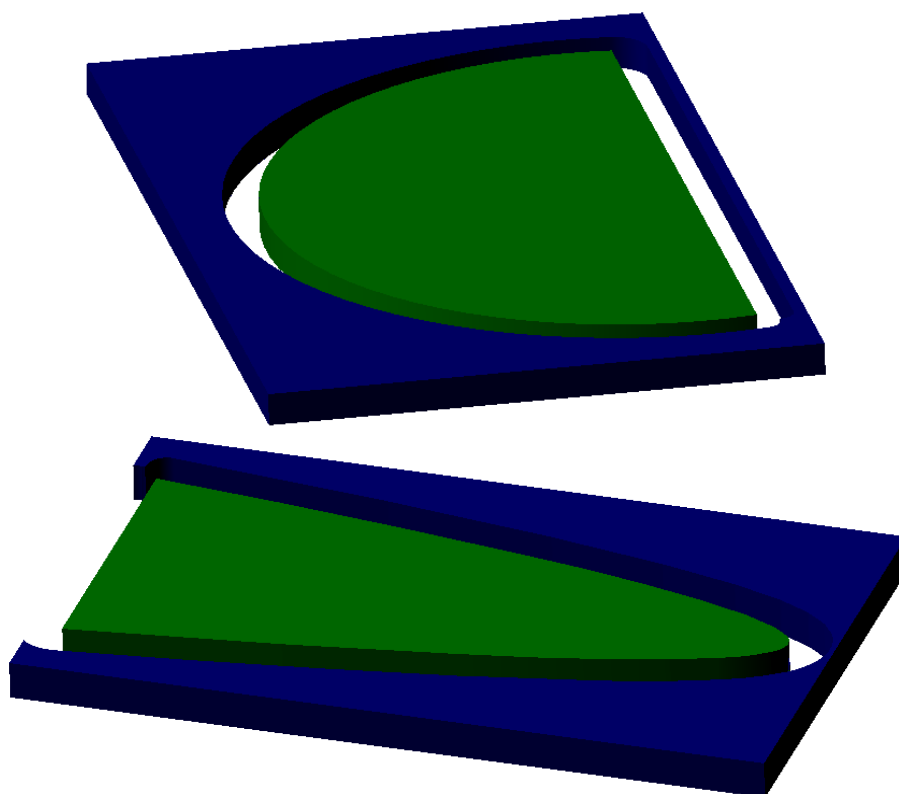


Figura 6-567. Estación 7 del timón de profundidad: Resultado de contorneado

La operación de **remachado** se efectúa introduciendo placas en U que sirven de base en la unión remachada.

Otra vía para la obtención de la pieza sería realizar el mecanizado completo de la pieza en la máquina CNC. Para ello partimos de una preforma que se ajuste a las dimensiones finales de la pieza y de espesor 7mm.

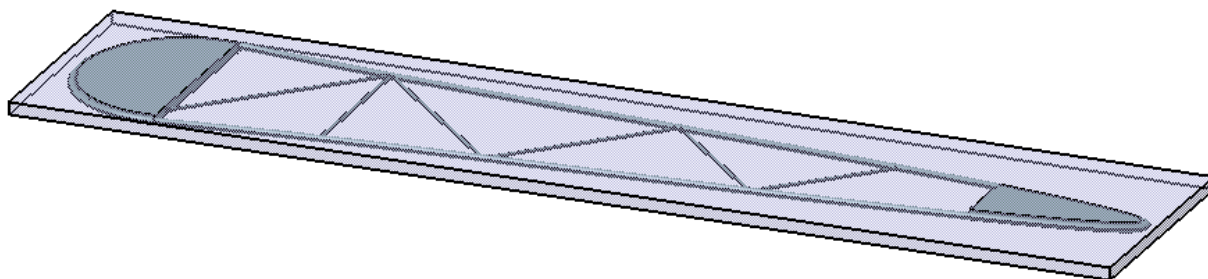


Figura 6-568. Estación 7 del timón de dirección: Preforma

Obviamente, el acabado de la pieza obtenida por esta vía sería diferente, pero igualmente funcional.

### 6.9.3.2 Timón de dirección: Otros componentes estructurales

La estructura del timón de dirección también consta de una serie de barras que ejercen de refuerzos estructurales. Estas barras, de diámetro 8mm, se obtienen mediante **laminación** y **torneado** (ver operaciones asociadas a la fabricación de barras del apartado **6.9.3.1 Timón de dirección: Estaciones**) y se unen al resto de la estructura por **remachado**.

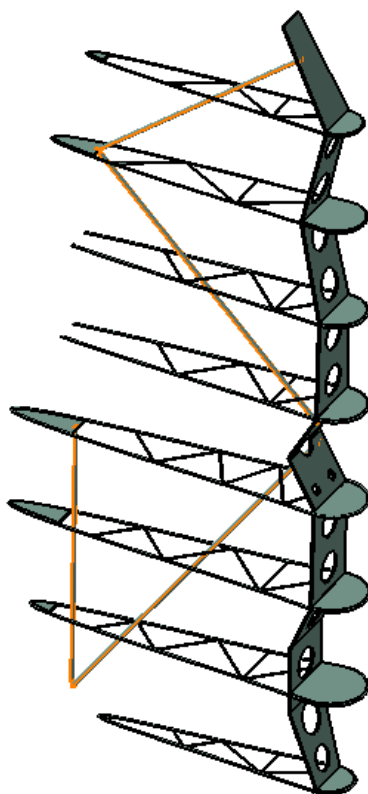


Figura 6-569. Barras que forman la estructura del timón de dirección

Por otro lado tenemos una serie de placas que se unen por **remachado** a las estaciones. Estas placas son de diferentes formas y dimensiones, pero todas con un espesor de 3mm. Para obtener estas piezas realizamos dos operaciones de **planeado**, una de **contorneado exterior** y una, dos o tres operaciones de **contorneado interior** (según proceda). Para más información ver secuencia de mecanizado de las placas del apartado **6.9.3.1 Timón de dirección: Estaciones**.

No explicaremos estas uniones remachadas en detalle por desconocimiento del proceso llevado a cabo.

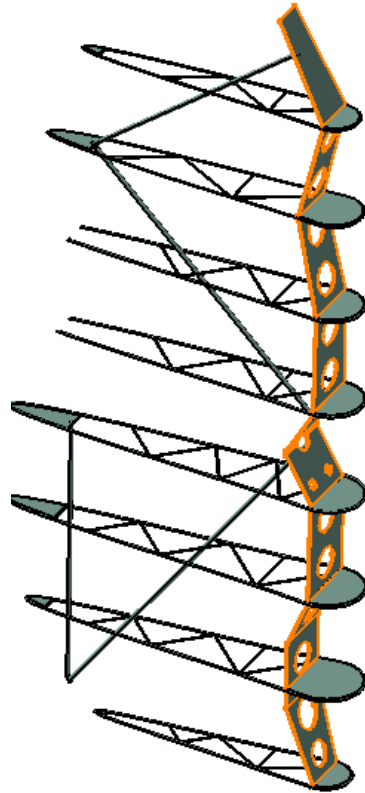


Figura 6-570. Placas que forman la estructura del timón de dirección

#### 6.9.3.3 Timón de dirección: Cubierta

La cubierta del timón de dirección, como hemos expuesto en apartados anteriores, era originalmente de tela de material orgánico. Sin embargo, en nuestro proyecto usaremos tereflato de polietileno (Dacron o Ceconite). Contactamos con alguna compañía especializada en el uso y montaje de este tipo de material.

#### 6.9.3.4 Ensamblaje timón de dirección

En este caso las uniones entre estaciones, barras y placas se realizan en su totalidad por **remachado**. Lo importante de este proceso radica en establecer un orden que nos permita conseguir el timón de dirección de acuerdo a sus especificaciones.

La cubierta de tereflato de polietileno se ensambla una vez que la estructura es completada. Este material facilita las labores del equipo de montaje ya que no se cose, sino que se pega a la estructura del avión y se ajusta mediante la aplicación de calor.

#### 6.9.4 Estabilizador horizontal

También conocido como plano fijo horizontal, se asemeja a un ala pequeña ubicada en la cola.

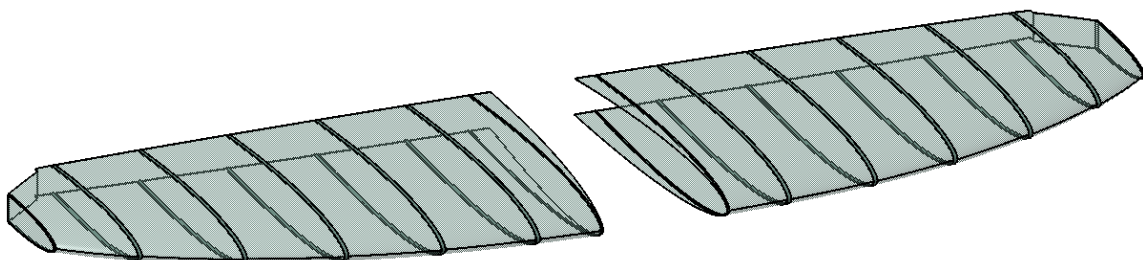


Figura 6-571. Estabilizador horizontal modelado en CATIA

#### 6.9.4.1 Estabilizador horizontal: Estaciones

El estabilizador horizontal está compuesto por ocho estaciones (0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, End Rib) que difieren en tamaño y curvatura, pero cuyo proceso de fabricación es el mismo. Tomamos la estación 1 como referencia del proceso seguido.

Partiendo de una preforma de dimensiones adecuadas y espesor 7mm, la secuencia de mecanizado es la que se muestra.

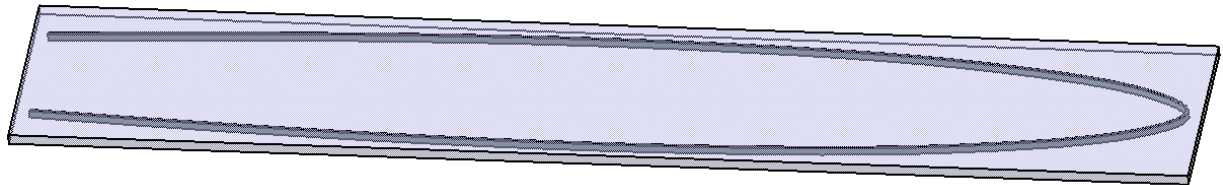


Figura 6-572. Estación 1 del estabilizador horizontal: Preforma

##### 1. Planeado por ambas caras (*Facing.1, Facing.2*):

- a. **Estrategia de mecanizado:** Ida y vuelta con una pasada de desbaste y una de acabado.
- b. **Geometría a mecanizar:** Caras superior e inferior de la preforma.
- c. **Herramienta:** Fresa de planeado ASX400-100B10R de Mitsubishi Materials (Figura 6-28, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- d. **Parámetros de corte:** Los definidos para mecanizado de aleaciones de aluminio con la herramienta de corte elegida (Figura 6-29, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- e. **Macros:** Macros de aproximación, retirada y aclarado del usuario (6.4.1.7. *Macros en operaciones de mecanizado*).

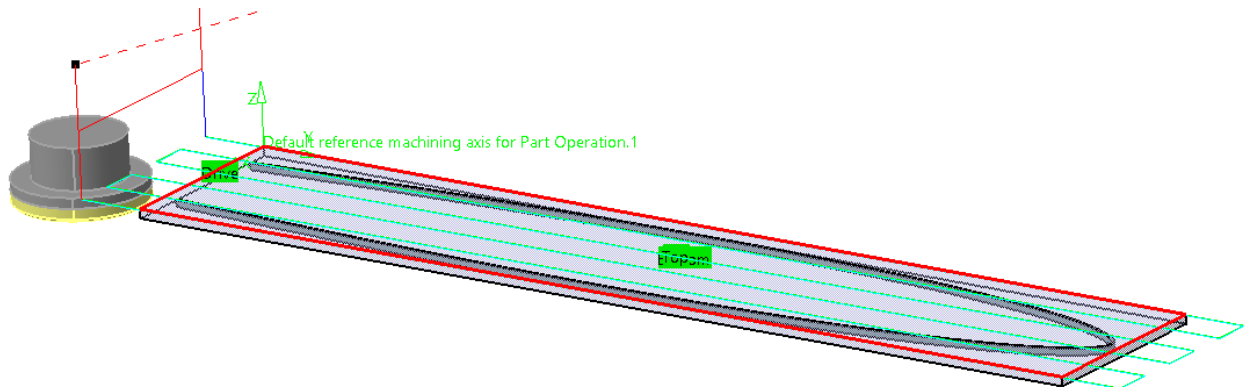


Figura 6-573. Estación 1 del estabilizador horizontal: Trayectoria de planeado

##### 2. Contorneado exterior (*Profile Contouring.1*):

- a. **Estrategia de mecanizado:** Zig- zag con una pasada de desbaste y una de acabado.
- b. **Geometría a mecanizar:** Contorno exterior de la pieza.
- c. **Herramienta:** Fresa periférico-frontal AM2MRD0500A060 de Mitsubishi Materials (Figura 6-34, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- d. **Parámetros de corte:** Los definidos para mecanizado de aleaciones de aluminio con la herramienta de corte elegida (Figura 6-35, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- e. **Macros:** Macros de aproximación, retirada y aclarado del usuario (6.4.1.7. *Macros en operaciones de mecanizado*).

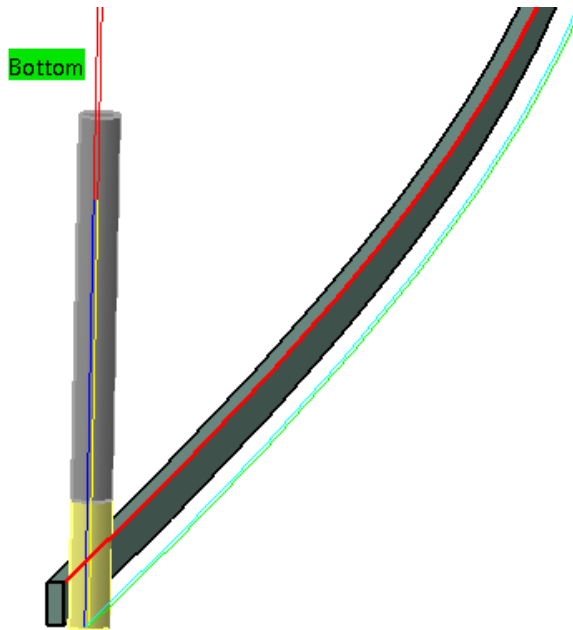


Figura 6-574. Estación 1 del estabilizador horizontal: Trayectoria de contorno exterior

### 3. Contorneado interior (*Profile Contouring.2*):

- a. **Estrategia de mecanizado:** Zig- zag con una pasada de desbaste y una de acabado.
- b. **Geometría a mecanizar:** Contorno interior de la pieza.
- c. **Herramienta:** Fresa periférico-frontal AM2MRD0500A060 de Mitsubishi Materials (Figura 6-34, apartado **6.3.3.5 Herramientas seleccionadas**).
- d. **Parámetros de corte:** Los definidos para mecanizado de aleaciones de aluminio con la herramienta de corte elegida (Figura 6-35, apartado **6.3.3.5 Herramientas seleccionadas**).
- e. **Macros:** Macros de aproximación, retirada y aclarado del usuario (**6.4.1.7. Macros en operaciones de mecanizado**).

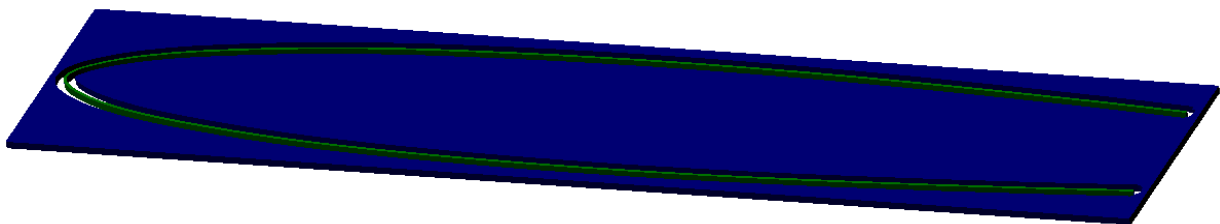


Figura 6-575. Estación 1 del estabilizador horizontal: Resultado de contorneado

#### 6.9.4.2 Estabilizador horizontal: Cubierta

La cubierta del estabilizador horizontal, cuya función es proteger y reducir la resistencia aerodinámica, se obtiene mediante **laminación, corte, estirado y conformado rotativo** de chapa de espesor variable entre 0.711mm y 0.914mm (para determinados compartimentos). Serán necesarios útiles certificados por la Autoridad de Aviación Civil correspondiente para la fabricación de esta parte de la aeronave.

#### 6.9.4.3 Ensamblaje estabilizador horizontal

Para el ensamblaje del estabilizador horizontal, primero debemos colocar todas las estaciones en su posición final con ayuda de un útil de posicionamiento debidamente calibrado. Una vez hecho esto, procedemos al taladrado de las propias estaciones y de los larguerillos que servirán como elemento de unión. El diámetro de estos agujeros es 3.18mm, lo que comprende una secuencia de **taladrado 2.5-3.1mm** y una operación posterior de **escariado**.

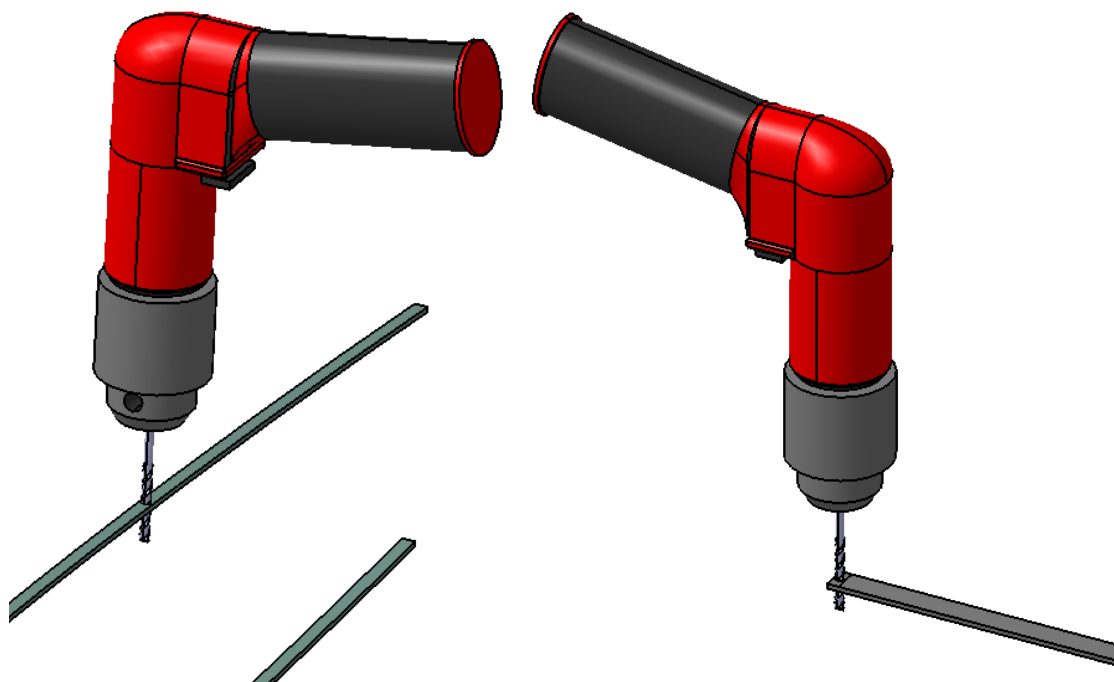


Figura 6-576. Estabilizador horizontal: Taladrado de estaciones y larguerillos

Una vez realizados todos los taladros, se limpian las superficies, se aplica un compuesto de unión y se remachan las uniones (**remachado indirecto**).

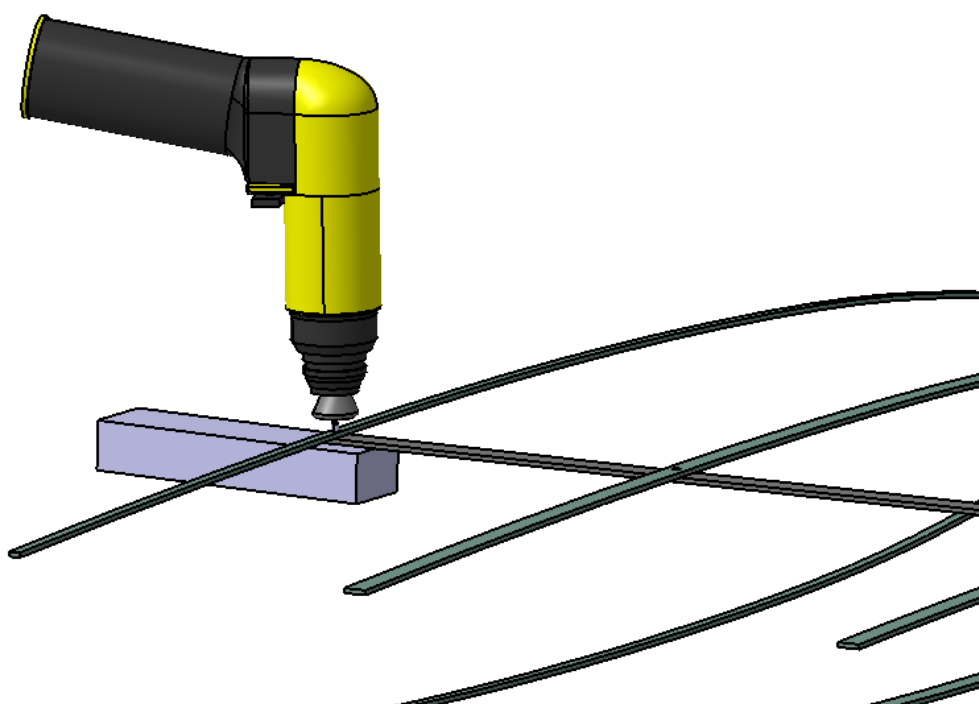


Figura 6-577. Estabilizador horizontal: Remachado de las uniones entre estaciones y larguerillos

Nota: Los larguerillos no fueron objeto del TFG, sin embargo, se llevará a cabo una ampliación para ilustrar que papel desempeñan en la unión de estaciones y en el posterior acople de la cubierta exterior. Se modela un solo larguerillo que recorre el estabilizador horizontal de principio a fin.

Una vez colocados todos los larguerillos, procederíamos al ensamblaje de la cubierta, que sigue un proceso muy similar al del fuselaje (apartado **6.6.10 Ensamblaje del fuselaje**):

1. **Taladramos** los agujeros de unión de estaciones y pieles, de diámetro 3.18mm (secuencia 2.5-3.1mm más **escariado**).



2. **Pinzamos** estas uniones.
3. **Taladramos** pieles y larguerillos en los puntos de unión. Nuevamente el diámetro es 3.18mm (secuencia 2.5-3.1mm más **escariado**).
4. **Avellanamos** los agujeros de las pieles para que los remaches queden a ras de la superficie.
5. Se limpian y pintan los componentes y se aplica el compuesto de unión en las zonas de contacto.
6. **Pinzamos** todas las uniones y procedemos con las labores de **remachado** (mayoritariamente con remaches ciegos).

Nota: el modelado de larguerillos, agujeros de las estaciones y remaches es una ampliación llevada a cabo como parte del TFM.

#### 6.9.4.3.1 Ensamblaje estabilizador horizontal: Máquinas y herramientas utilizadas

Véase apartados **6.3.4 Máquinas** y **6.3.5.5 Herramientas seleccionadas**.

- Taladro tipo pistola.
  - Broca UNCETA A2 2297 D2.5.
  - Broca UNCETA A2 2297 D3.1.
  - Escariador UNCETA A6 6260 D3.1.
  - Regulador micrométrico para la operación de avellanado.
- Remachadora tipo pistola.
  - Buterola adecuada para el remache de diámetro 3.18mm.
  - Sufridera o entibe adecuado para cada posición de remachado.
- Remachadora neumática para remaches ciegos.
  - Boquilla adecuada para el diámetro del remache.

### 6.9.5 Timón de profundidad

Mediante su movimiento controlamos el movimiento de cabeceo del avión

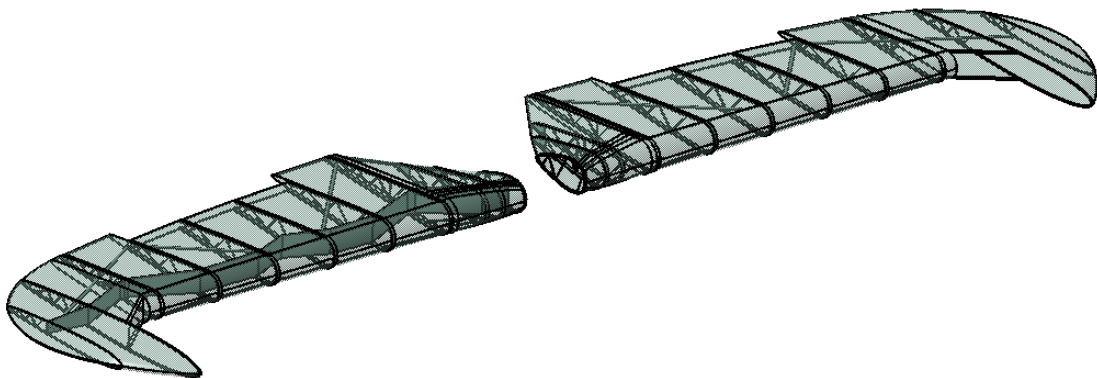


Figura 6-578. Timón de profundidad modelado en CATIA

#### 6.9.5.1 Timón de profundidad: Estaciones

Véase apartado **6.9.3.1 Timón de dirección: Estaciones**.

#### 6.9.5.2 Timón de profundidad: Otros componentes estructurales

Véase apartado **6.9.3.2 Timón de dirección: Otros componentes estructurales**.



### 6.9.5.3 Timón de profundidad: Cubierta

Véase apartado 6.9.3.3 *Timón de dirección: Cubierta*.

### 6.9.5.4 Ensamblaje timón de profundidad

Véase apartado 6.9.3.4 *Ensamblaje timón de dirección*.

## 6.9.6 Trim tab

Se trata de tres piezas móviles situadas en el timón de profundidad (dos) y en el timón de dirección. Su función es mejorar el rendimiento de la aeronave a grandes velocidades, donde el uso y la efectividad de ambos timones se complican y da como resultado un peor comportamiento.

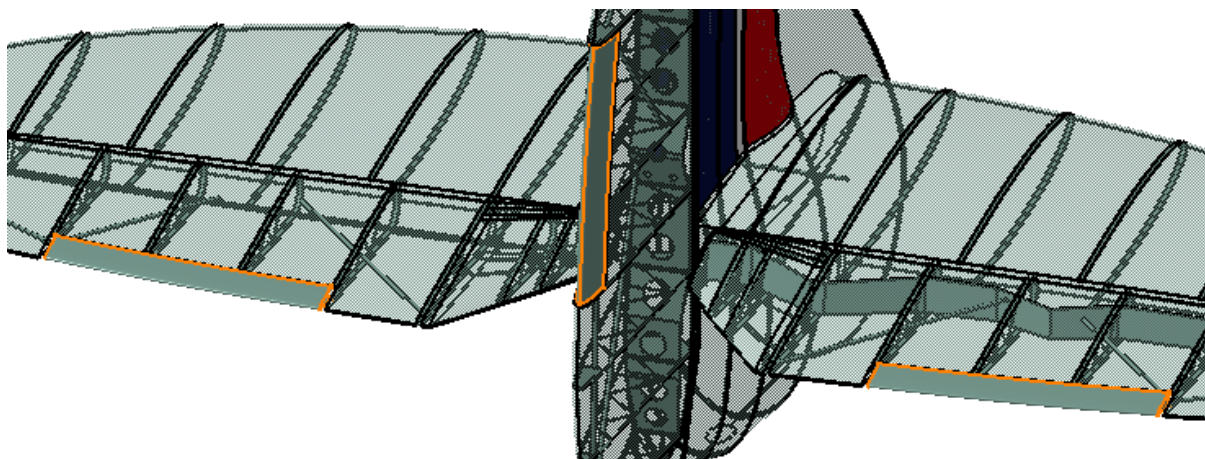


Figura 6-579. *Trim tab* modelado en CATIA

La fabricación de estos componentes sigue pautas similares a las seguidas con los timones de dirección y profundidad.

## 6.9.7 Ensamblaje de la cola

Para el ensamblaje de la cola haremos uso de útiles destinados a tal efecto, en el que cada uno de los componentes ocupe su posición correcta.

El primer paso será colocar el estabilizador vertical y proceder al remachado del estabilizador horizontal. Seguidamente fijamos los timones de dirección y profundidad de manera que se respeten sus grados de libertad.

No entramos en detalles acerca del proceso de ensamblaje porque no disponemos de suficiente información.

## 6.10 Ala

Se trata del elemento más importante de cara a cumplir la funcionalidad primaria de una aeronave, volar. El ala al desplazarse en el seno de una corriente incidente genera una diferencia de presiones entre intradós y extradós que produce una fuerza ascendente denominada sustentación permitiendo al avión mantenerse en vuelo.

Estructuralmente queda compuesta por largueros, costillas y revestimientos más alerones y flaps, que a su vez están compuestos de pequeñas costillas y revestimientos.

El diseño del ala responde a criterios como las actuaciones de la aeronave en vuelo, velocidad, cálculos estructurales... En el caso del Spitfire, existen dos diseños para el ala, las denominadas ala E y ala C, correspondiéndole a nuestro modelo esta última.



Figura 6-580. Ala del Spitfire Mk IX

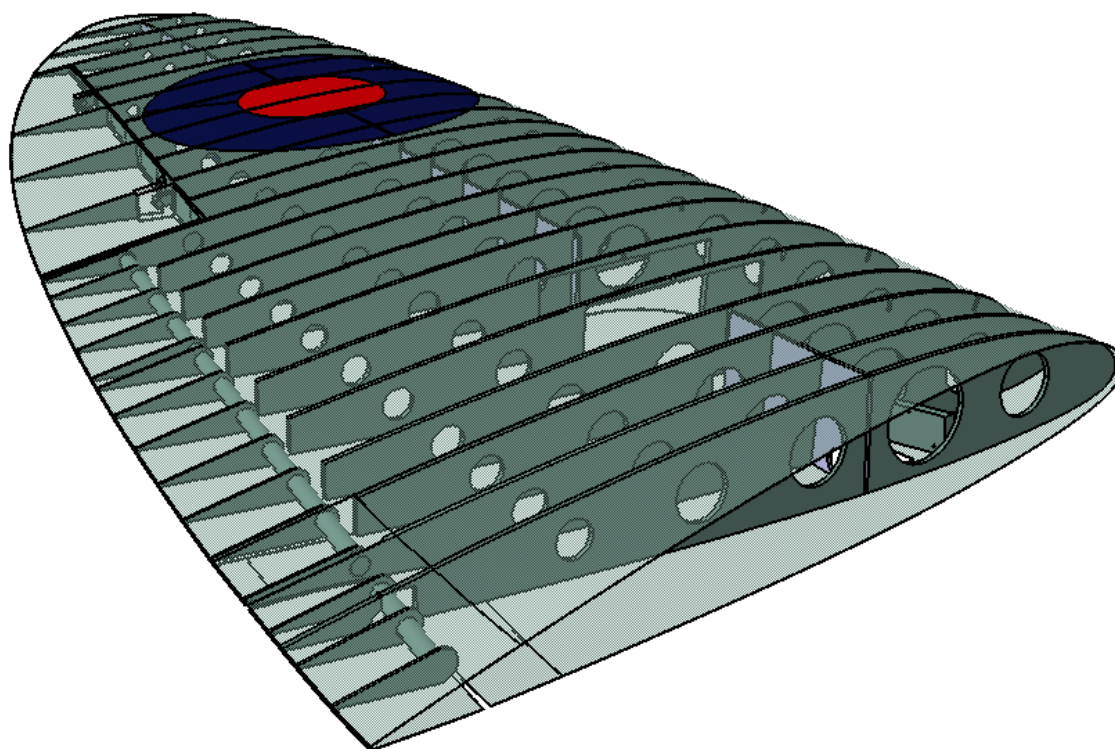


Figura 6-581. Ala modelada en CATIA

Otras importantes funciones del ala del Spitfire son:

- Controlar el movimiento de balanceo por la deflexión asimétrica de los alerones.
- Asegurar operaciones de despegue y aterrizaje mediante superficies hipersustentadoras (flaps).
- Soporte de armamento.
- Alojamiento del tren de aterrizaje.

#### 6.10.1 Primeros pasos de la restauración

El primer paso sería desmontar las alas del fuselaje, aunque normalmente al adquirir un avión de estas características y con el fin de restaurarlo, éstas ya vienen desmontadas. A continuación se desmontarían los radiadores, enfriadores de aceite, tuberías neumáticas, tuberías de calefacción de armas, sistemas de control del

alerón y sistemas asociados al tren de aterrizaje retráctil, prestando especial atención en fotografiar previamente los componentes montados, organizarlos correctamente por lotes y fotografiarlos nuevamente.

Una vez hecho esto, procedemos a la inspección de los diferentes elementos evaluando la corrosión, deformación o rotura de revestimientos y costillas.

### 6.10.2 Costillas

Las costillas juegan un papel esencial en el plano aerodinámico, dotando al ala de un perfil aerodinámico, y estructuralmente dando resistencia a torsión.

Cada ala está constituida por veintidós costillas de igual espesor y forma similar, obedeciendo todas a un determinado perfil NACA. Por ello, para mostrar como obtenemos una pieza de estas características nos centraremos en la costilla 1, es decir, la más próxima al fuselaje.

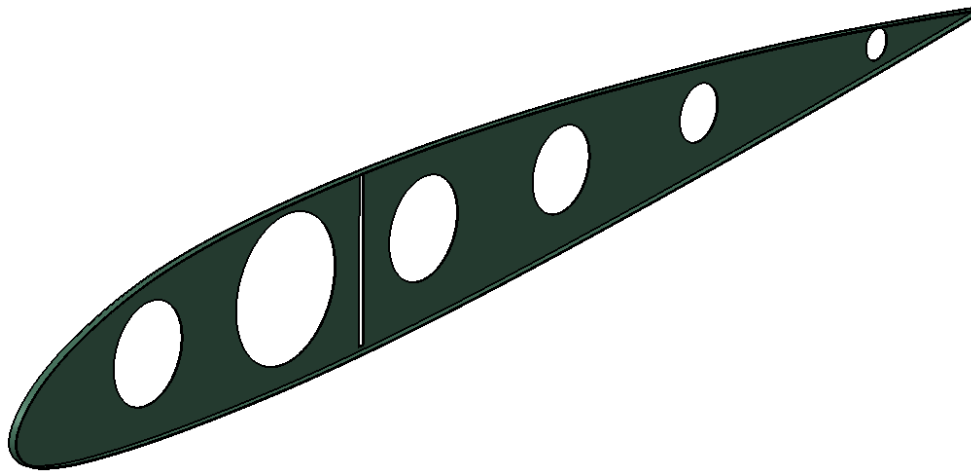


Figura 6-582. Costilla 1 modelada en CATIA

En esto caso partiremos de un preforma de dimensiones 2556 x 360 x 4mm. Para el resto de costillas adecuaremos estas dimensiones, manteniendo siempre un espesor de 4mm.

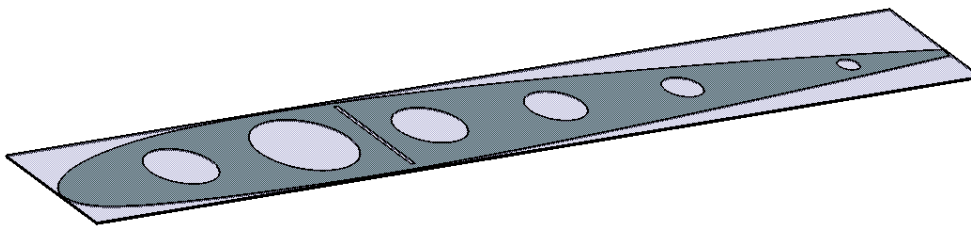


Figura 6-583. Costilla 1: Preforma

La secuencia de operaciones seguidas es:

#### 1. Planeado por ambas caras (*Facing.1, Facing.2*):

- a. **Estrategia de mecanizado:** Ida y vuelta con una pasada de desbaste y una de acabado.
- b. **Geometría a mecanizar:** Caras superior e inferior de la preforma.
- c. **Herramienta:** Fresa de planeado ASX400-100B10R de Mitsubishi Materials (Figura 6-28, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- d. **Parámetros de corte:** Los definidos para mecanizado de aleaciones de aluminio con la herramienta de corte elegida (Figura 6-29, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- e. **Macros:** Macros de aproximación, retirada y aclarado del usuario (6.4.1.7. *Macros en operaciones de mecanizado*).

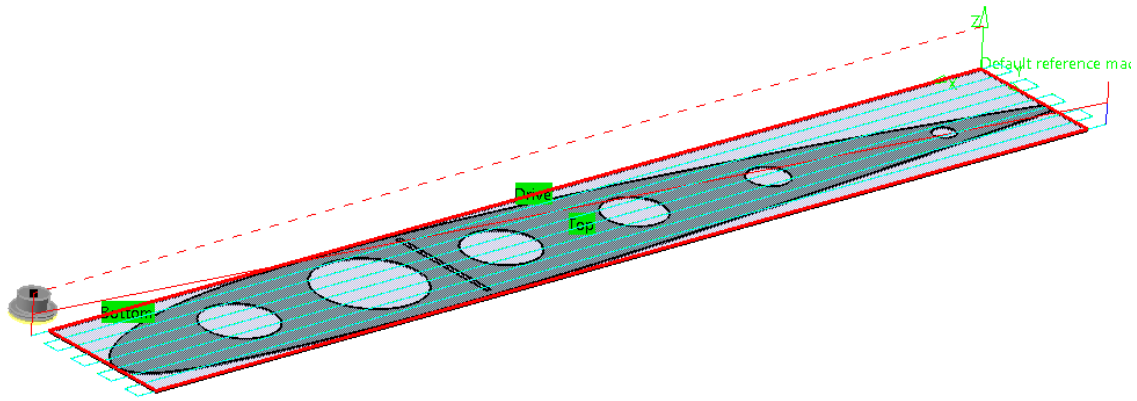


Figura 6-584. Costilla 1: Trayectoria de planeado

## 2. Contorneado exterior (*Profile Contouring.1*):

- a. **Estrategia de mecanizado:** Zig- zag con una pasada de desbaste y una de acabado.
- b. **Geometría a mecanizar:** Contorno exterior de la pieza.
- c. **Herramienta:** Fresa periférico-frontal AM2MBR0200A060 de Mitsubishi Materials (Figura 6-36, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- d. **Parámetros de corte:** Los definidos para mecanizado de aleaciones de aluminio con la herramienta de corte elegida (Figura 6-37, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- e. **Macros:** Macros de aproximación, retirada y aclarado del usuario (6.4.1.7. *Macros en operaciones de mecanizado*).

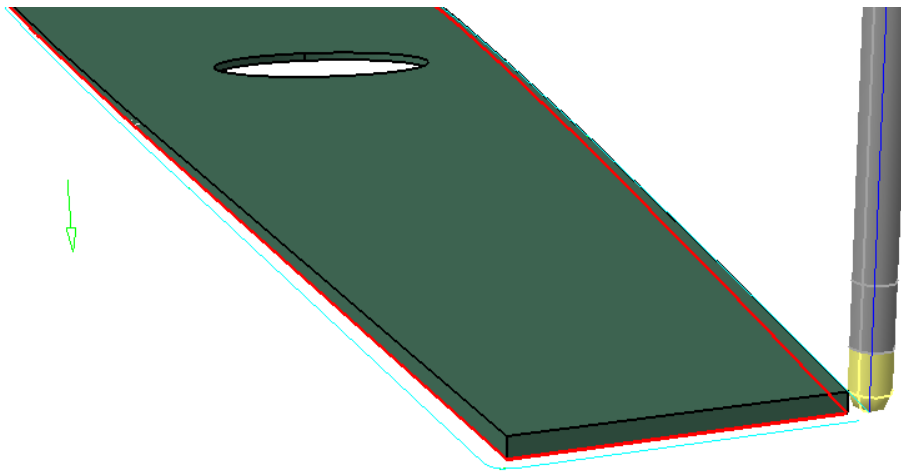


Figura 6-585. Costilla 1: Trayectoria de contorneado exterior

## 3. Contorneado interior (*Profile Contouring.2- Profile Contouring.6*):

- a. **Estrategia de mecanizado:** Zig- zag con una pasada de desbaste y una de acabado.
- b. **Geometría a mecanizar:** Contornos interiores de la pieza.
- c. **Herramienta:** Fresa periférico-frontal AM2MBR0200A060 de Mitsubishi Materials (Figura 6-36, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- d. **Parámetros de corte:** Los definidos para mecanizado de aleaciones de aluminio con la herramienta de corte elegida (Figura 6-37, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- e. **Macros:** Macros de aproximación, retirada y aclarado del usuario (6.4.1.7. *Macros en operaciones de mecanizado*).



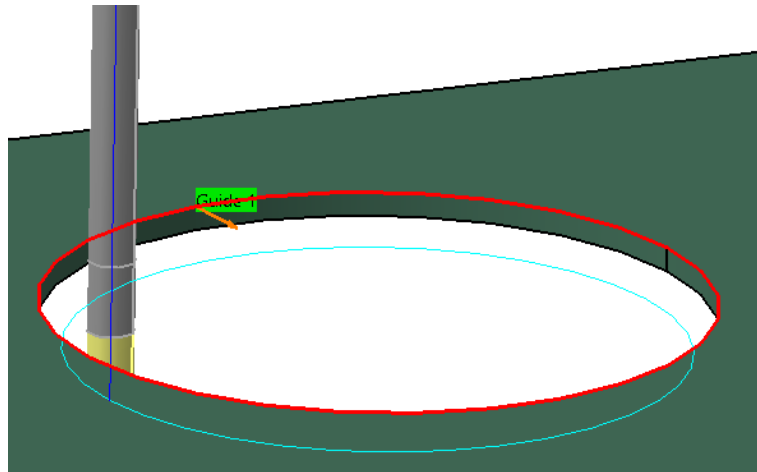


Figura 6-586. Costilla 1: Trayectoria de contorneado interior

#### 4. Vaciado (*Pocketing.1*):

- a. **Estrategia de mecanizado:** Ida y vuelta con una pasada de desbaste y una de acabado.
- b. **Geometría a mecanizar:** Vaciado en forma rectangular para alojar el larguero transversal.
- c. **Herramienta:** Fresa periférico-frontal AM2MBR0200A060 de Mitsubishi Materials (Figura 6-36, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- d. **Parámetros de corte:** Los definidos para mecanizado de aleaciones de aluminio con la herramienta de corte elegida (Figura 6-37, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- e. **Macros:** Macros de aproximación, retirada y aclarado del usuario (6.4.1.7. *Macros en operaciones de mecanizado*).

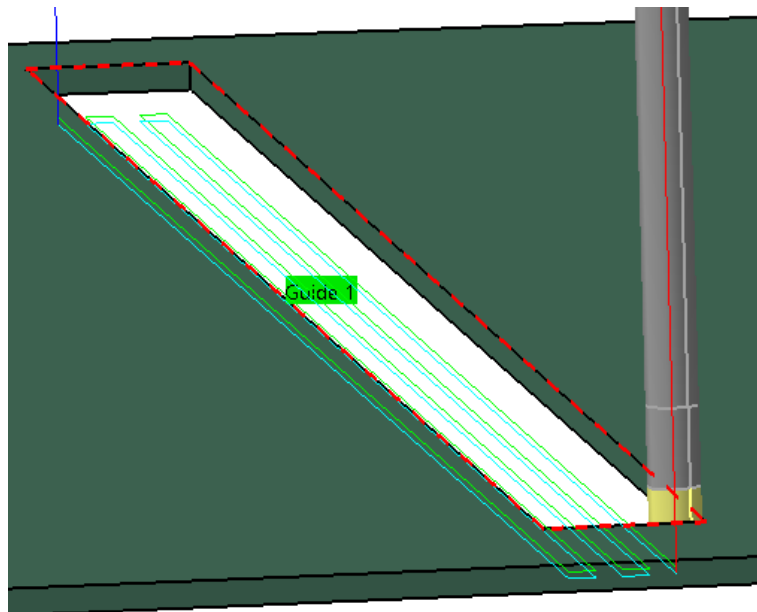


Figura 6-587. Costilla 1: Trayectoria de vaciado

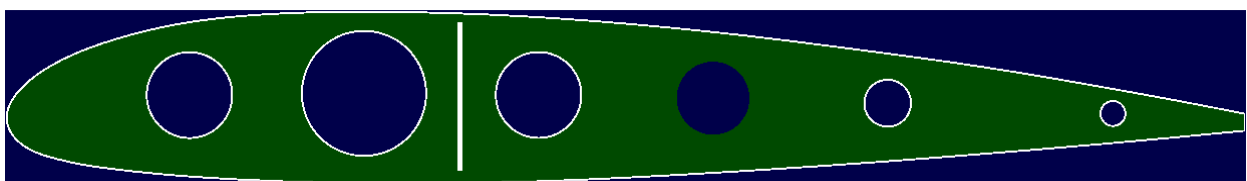


Figura 6-588. Costilla 1: Resultado de mecanizado

5. **Doblado de chapa:** Para finalizar doblamos la chapa en sus extremos para obtener las superficies del contorno de las costillas y que sirven de base para las operaciones de remachado de pieles.

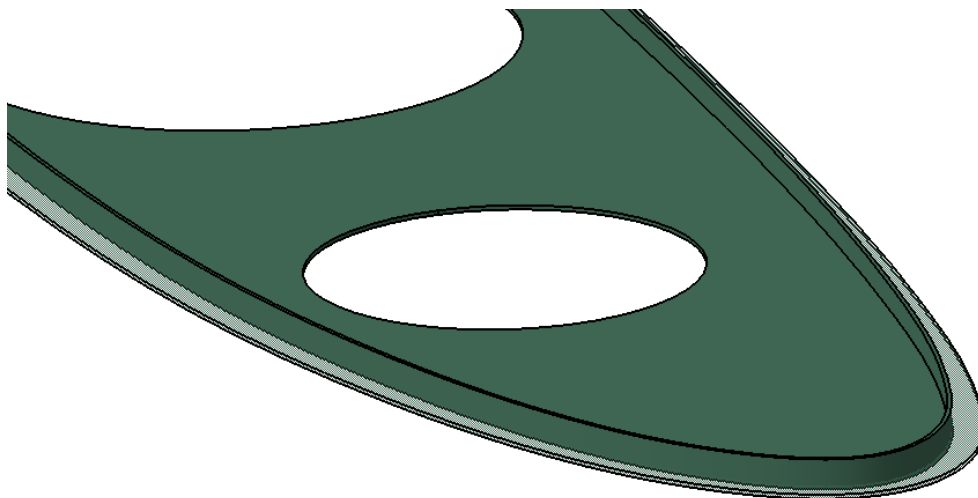


Figura 6-589. Costilla 1: Doblado de chapa

### 6.10.3 Largueros

Los largueros recorren toda el ala en sentido longitudinal, transversalmente a las costillas. Su función es estructural, aumentando la resistencia a flexión del ala.

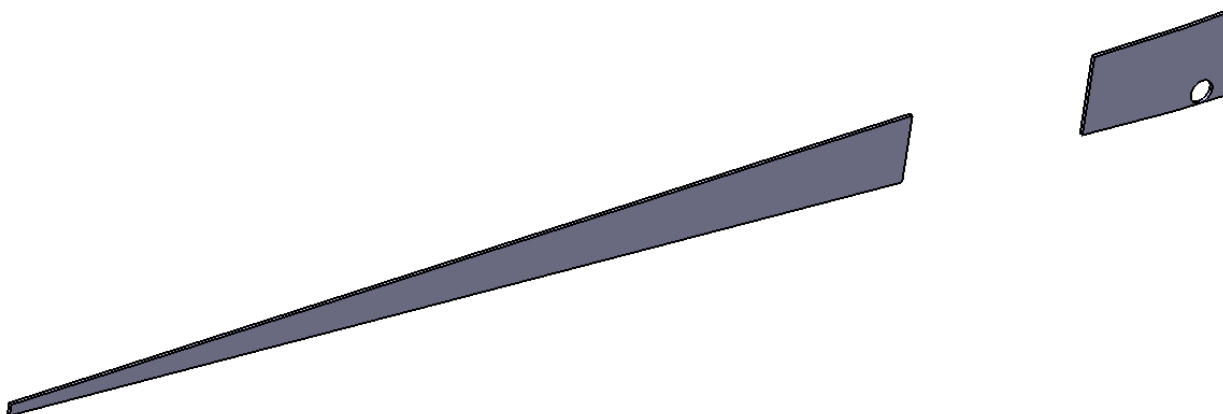


Figura 6-590. Largueros modelados en CATIA

En el caso del Spitfire tenemos dos tramos, dejando un hueco para respetar la posición en la que se aloja el tren de aterrizaje retráctil.

Al tratarse de un elemento de fabricación sencilla, no simularemos el proceso. Por mecanizado básicamente necesitaremos dos operaciones de **planeado** y una de **contorneado exterior** (en el caso del tramo más pequeño también se realizaría una operación de **contorneado interior**).

### 6.10.4 Cubierta

La cubierta del ala se obtiene mediante **laminación, corte, estirado y conformado rotativo** de chapa de espesor variable, entre 0.558mm (punta del ala), 0.711mm (extremo pegado a la punta del ala), 0.914mm (la mayor parte del ala), 1.22mm (ciertos compartimentos relacionados con el tren de aterrizaje), 1.63mm (punta del ala), 2.03mm (borde de ataque) y 3.25mm (compartimento para munición). Para las operaciones de estirado y conformado rotativo se dispone de útiles (moldes, matrices...) especialmente diseñados y certificados por la Autoridad de Aviación Civil correspondiente.

Entre las especificaciones de diseño de la cubierta está encontrar un compromiso entre la protección de los sistemas del avión, dar al ala resistencia a cortante y dotar a la aeronave de un perfil aerodinámico adecuado.

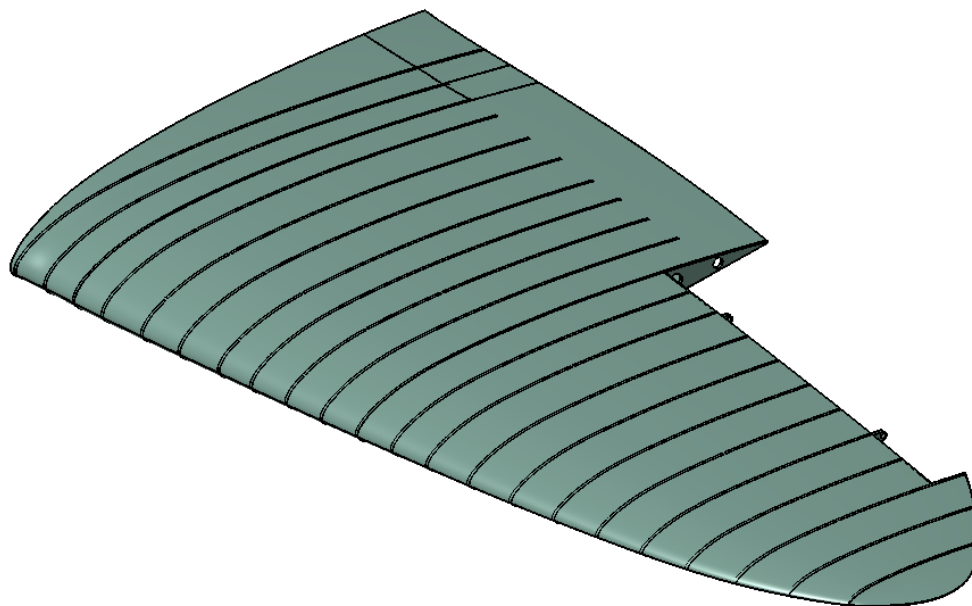


Figura 6-591. Cubierta de ala modelada en CATIA

La disposición de las pieles dista bastante de la realidad al no considerarse compartimentos independientes, varias chapas ni superposición de las mismas.

#### 6.10.5 Alerón

Como comentábamos anteriormente, el alerón es el componente del ala cuya deflexión asimétrica permite al piloto controlar el movimiento de balanceo.



Figura 6-592. Alerón del Spitfire

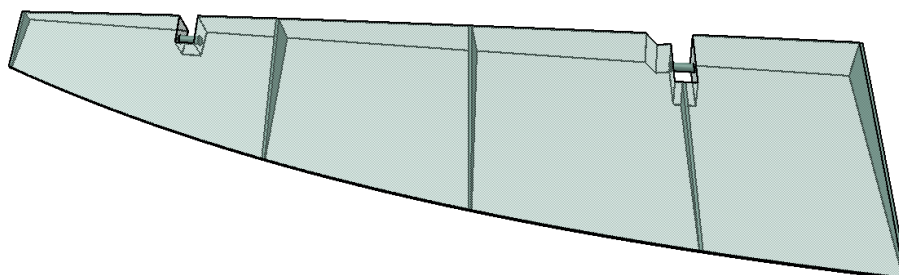


Figura 6-593. Alerón modelado en CATIA

Se puede considerar el alerón un ala a pequeña escala, por lo que sus costillas y pieles obedecen a un proceso de fabricación similar a las de la estructura principal del ala (véase apartados **6.10.2 Costillas** y **6.10.4 Cubierta**).

### 6.10.6 Flaps

Los flaps son superficies hipersustentadoras que aumentan la sustentación a bajas velocidades. Se usan por tanto durante el despegue y aterrizaje de una aeronave. No solo aumentan la sustentación, sino que también aumentan la resistencia aerodinámica. En la fase de diseño se establecen velocidades máximas a las que deben ser retraídos.

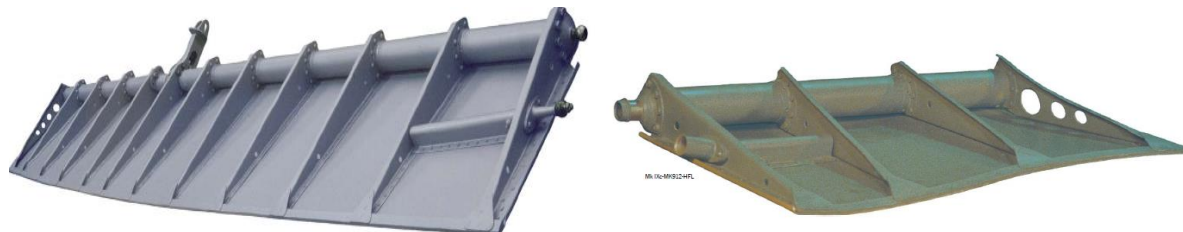


Figura 6-594. Flaps externo e interno del Spitfire

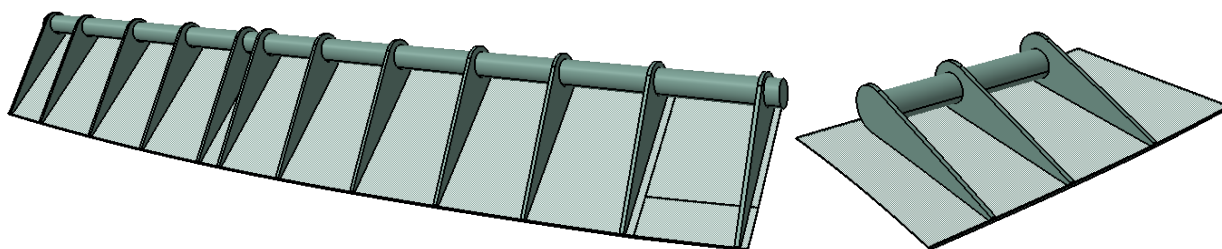


Figura 6-595. Flaps externo e interno modelados en CATIA

Igualmente sus costillas y pieles (sólo en una cara) obedecen a pautas de fabricación similares a las seguidas en la estructura principal del avión con una salvedad, las costillas se encuentran unidas por una barra que hace las veces de eje de giro. Véase apartados **6.10.2 Costillas** y **6.10.4 Cubierta**.

### 6.10.7 Ensamblaje del ala

Disponemos de un útil de posicionamiento calibrado y certificado por la Autoridad de Aviación Civil correspondiente. Situamos cada costilla en su posición correcta y posteriormente se sitúan los largueros transversalmente a éstas.

El siguiente paso es la colocación de las pieles, mediante un proceso muy similar al seguido en el fuselaje (apartado **6.6.10 Ensamblaje del fuselaje**):

1. Se colocan las pieles sobre la estructura formada por costillas y largueros.
2. Se **taladran** las propias pieles y las costillas en los puntos de unión. El diámetro del agujero es 3.18mm (secuencia 2.5-3.1mm más **escariado**).
3. Se **avellan** los agujeros de las pieles para que las uniones remachadas queden a ras de la superficie.
4. Se pinta la cubierta exterior, se aplica el compuesto de unión y se efectúan las uniones, mediante remaches ciegos de 3.18mm.

Paralelamente seguimos procesos idénticos para la obtención de los alerones y flaps. Por tanto, el último paso será acoplar estos componentes a la estructura principal del ala formada por costillas, largueros y pieles. Desconocemos como es el acople en el avión real, de manera que durante el desarrollo del TFG se realizó un diseño que cumpliera con las características y funcionalidades de estas uniones.



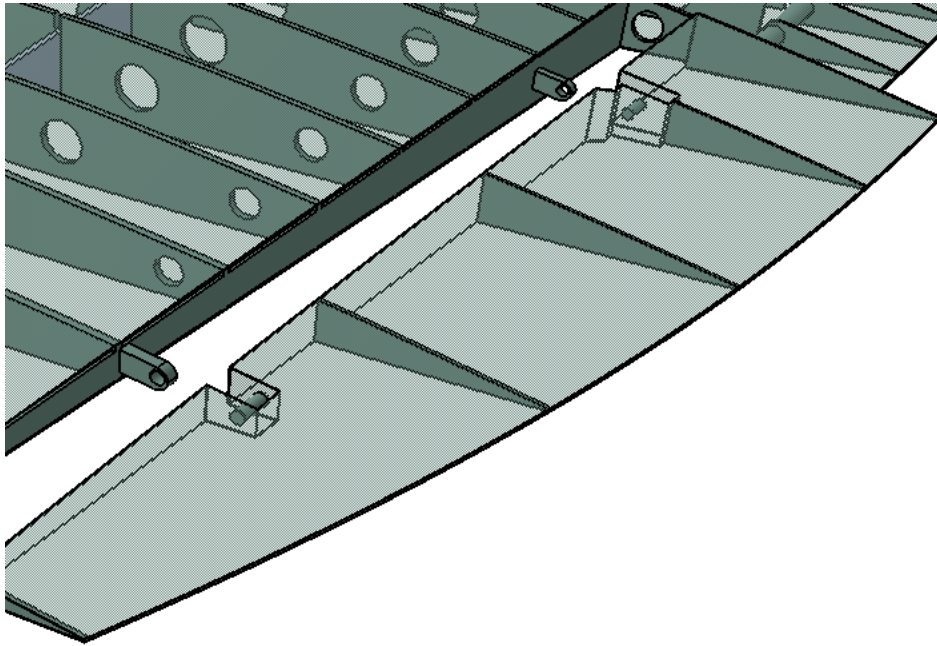


Figura 6-596. Unión alerón-estructura principal

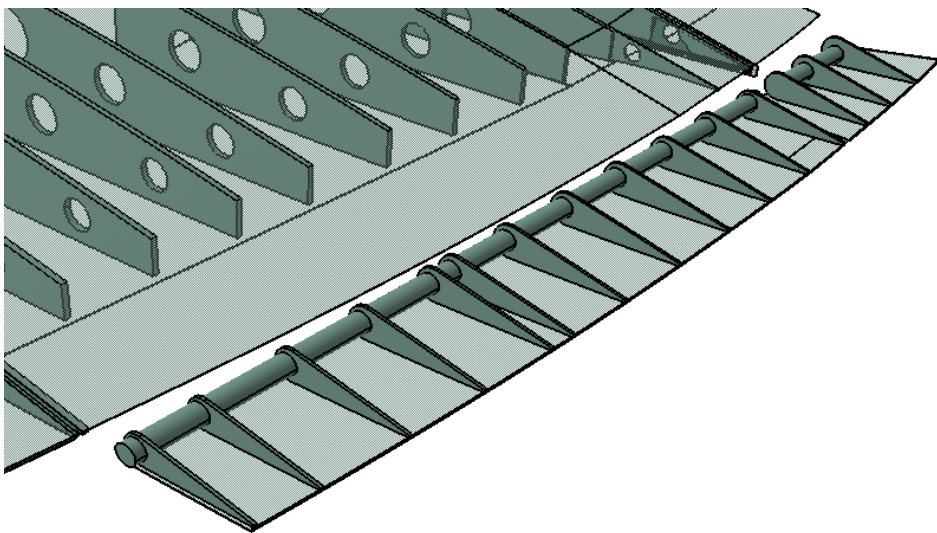


Figura 6-597. Unión flaps-estructura principal

#### 6.10.7.1 Ensamblaje fuselaje: Máquinas y herramientas utilizadas

Véase apartados **6.3.4 Máquinas** y **6.3.5.5 Herramientas seleccionadas**.

- Taladro tipo pistola.
  - Broca UNCETA A2 2297 D2.3.
  - Broca UNCETA A2 2297 D2.5.
  - Broca UNCETA A2 2297 D3.1.
  - Escariador UNCETA A6 6260 D2.3.
  - Escariador UNCETA A6 6260 D3.1.
  - Regulador micrométrico para la operación de avellanado.
- Remachadora neumática para remaches ciegos.
  - Boquilla adecuada para los remaches ciegos de 2.38 y 3.5mm.

## 6.11 Tren de aterrizaje

El tren de aterrizaje es un conjunto formado por ruedas, soportes, sistemas de amortiguación y otros elementos cuyas funciones son:

- Servir de soporte para la aeronave.
- Posibilitar el movimiento del avión en pista.
- Amortiguar la energía cinética debida al impacto asociado al aterrizaje.

Debe estar dotado de un sistema de direccionamiento y frenado para el movimiento en tierra y diseñado de forma que pueda soportar la energía de descenso del avión. En este último aspecto influyen características como las dimensiones del propio tren, el diámetro y presión de los neumáticos...

En el caso del Spitfire Mk IX tendremos dos partes diferenciadas, el tren de aterrizaje fijo (trasero) y el tren de aterrizaje retráctil (delantero). Ambos están fabricados casi en su totalidad en acero.

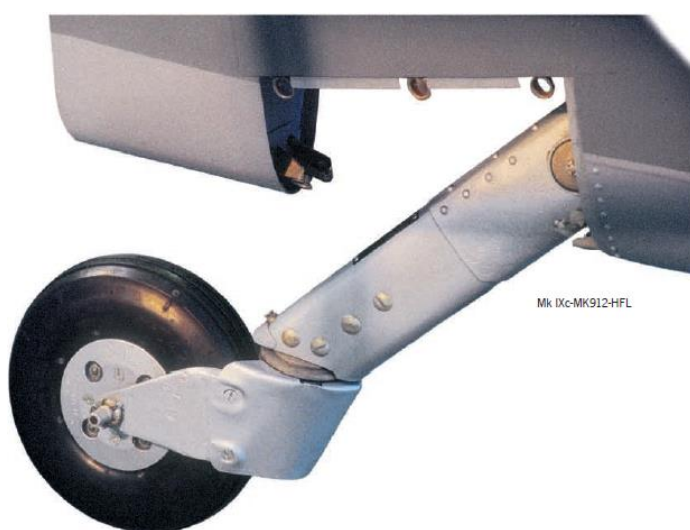


Figura 6-598. Tren de aterrizaje fijo del Spitfire Mk IX

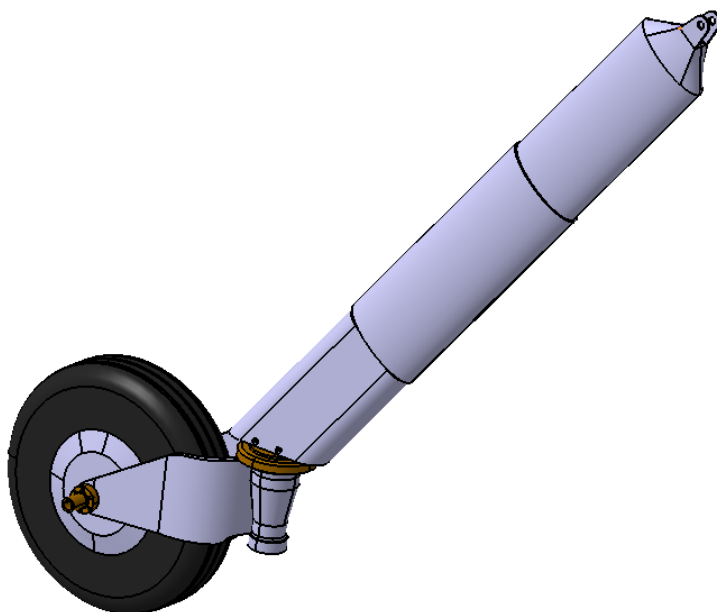


Figura 6-599. Tren de aterrizaje fijo modelado en CATIA



Figura 6-600. Tren de aterrizaje retráctil del Spitfire Mk IX

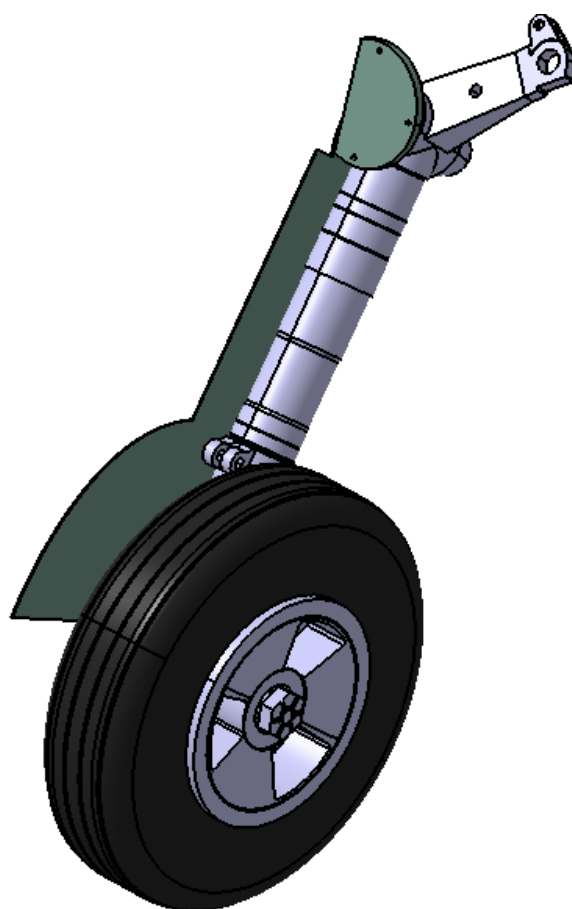


Figura 6-601. Tren de aterrizaje retráctil modelado en CATIA

No serán objeto de estudio los sistemas de amortiguación y sus componentes específicos. Estos sistemas serán reparados o distribuidos por un proveedor especializado en estos productos.

### 6.11.1 Primeros pasos

Para ambos trenes, fijo y retráctil, el primer paso es proceder al desmontaje para evaluar el estado de sus componentes. En el proceso de desmontaje del tren de aterrizaje se debe elevar el avión utilizando varios gatos hidráulicos que se sitúan sobre puntos duros<sup>23</sup> de las superficies del avión. El avión se eleva para que los sistemas de amortiguación del tren de aterrizaje se extiendan completamente.



Figura 6-602. Ejemplo de “avión en gato”

En el caso del tren de aterrizaje retráctil, primero quitamos el conjunto del eje retirando las dos o tres tuercas que lo sujetan. Es de gran importancia aflojar el punto de carga de aire para despresurizar el conjunto y así evitar la salida a presión de aceite. Finalmente, se retiran todos los tornillos para el completo desmontaje de este elemento.

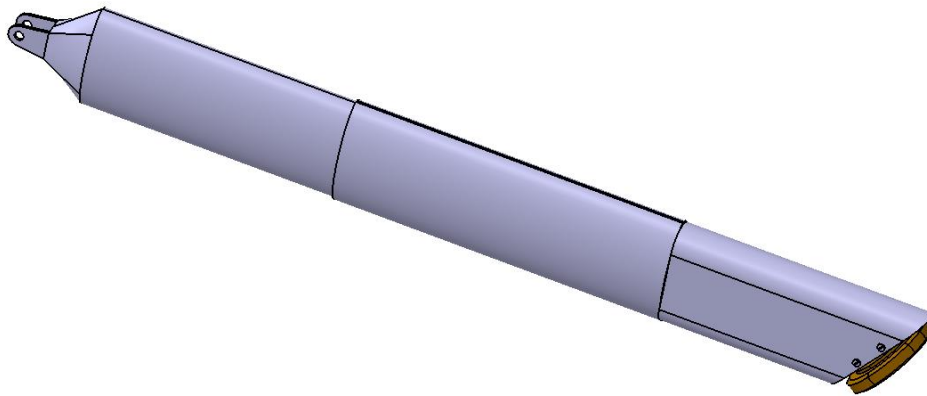
### 6.11.2 Tren de aterrizaje fijo

El tren de aterrizaje fijo, como su nombre indica, mantiene su posición inalterada estando expuesto a la corriente de aire cuando el avión se encuentra en vuelo. En aviones pequeños el aumento de la resistencia aerodinámica está justificado por la reducción de peso que suponen frente a otros tipos de trenes de aterrizaje.

#### 6.11.2.1 Strut

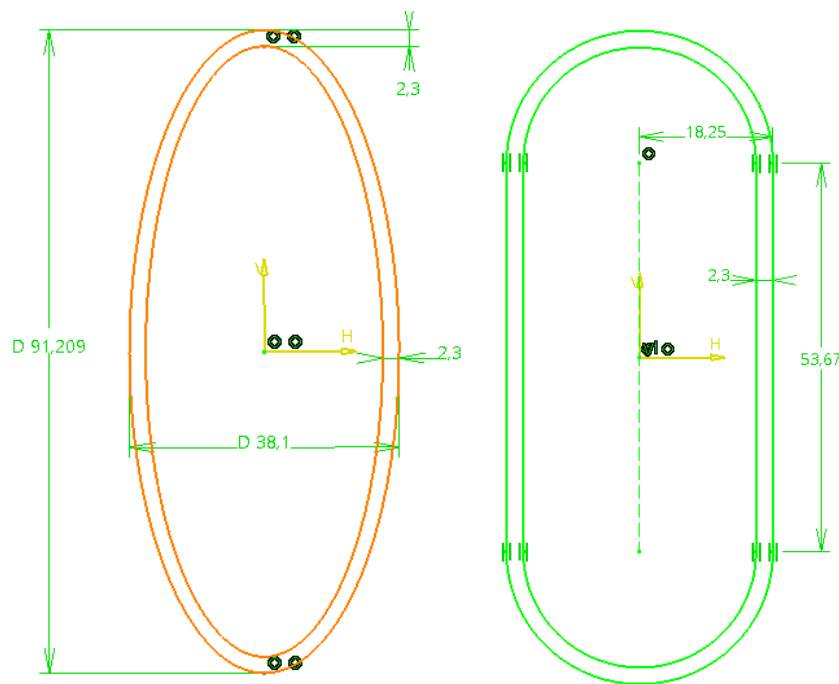
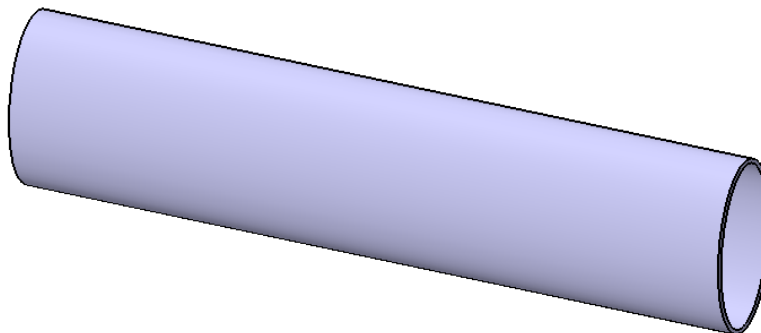
Es el soporte del tren de aterrizaje fijo, compuesto a su vez por dos elementos. El primero de ellos consta de varios perfiles huecos de espesor 2.3mm remachados y/o atornillados entre sí (los huecos que sirven de base para estas uniones no han sido modelados).

<sup>23</sup> Punto duro: También llamado punto de anclaje, es aquella parte de la estructura de una aeronave diseñada para soportar una carga externa.

Figura 6-603. *Strut* modelado en CATIA

Las operaciones necesarias para obtener este componente son:

1. **Laminación:** Obtenemos dos barras de acero que servirán de preforma.
2. **Extrusión 1 y 2:** Se hacen pasar las barras anteriormente obtenidas por una matriz o hilera con las formas de los perfiles huecos.

Figura 6-604. *Strut*-pieza 1: Perfiles de extrusiónFigura 6-605. *Strut*-pieza 1. Resultado de extrusión 1

3. **Corte de tubo:** Cortamos el tubo obtenido como resultado del segundo perfil de extrusión mostrado, con un ángulo de unos 60°.

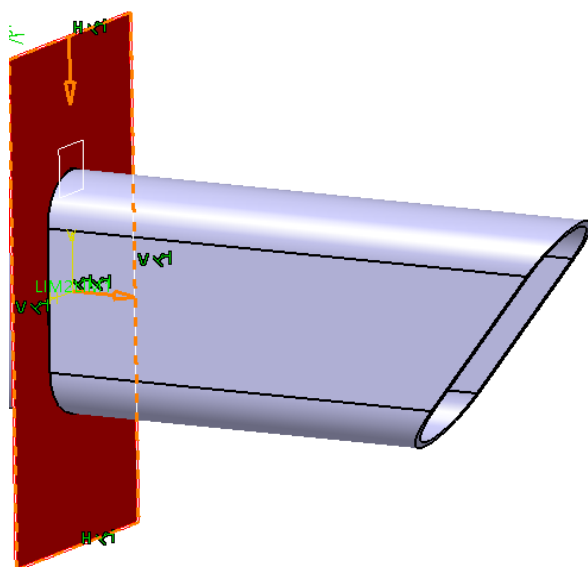


Figura 6-606. *Strut*-pieza 1: Resultado de extrusión 2 y corte

4. **Remachado indirecto 1/Atornillamiento 1:** Se unen los cuerpos obtenidos como resultado de las operaciones de extrusión mediante remaches de 3.18mm y tornillería varia.

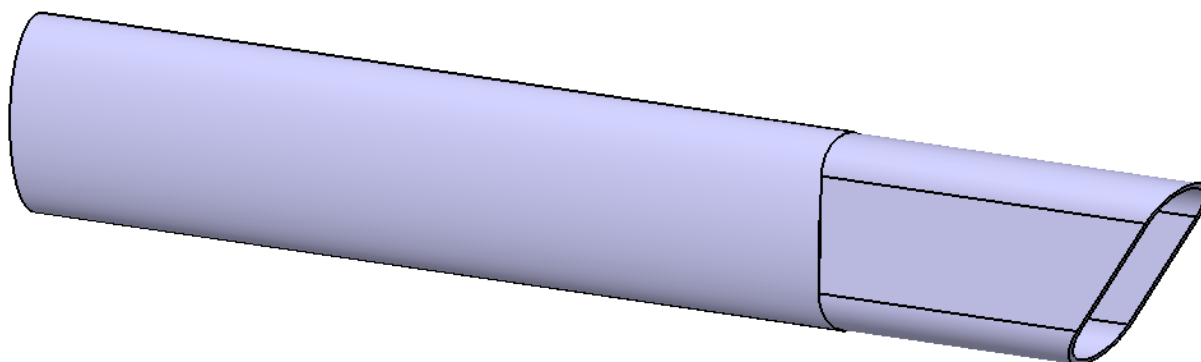


Figura 6-607. *Strut*-pieza 1: Resultado de primera unión

5. **Corte y doblado de chapa:** Se obtienen las dos superficies externas de espesor 1.8mm.
6. **Remachado indirecto 2/Atornillamiento 2:** Se unen mediante remaches de 3.18mm y tornillería estas dos superficies.

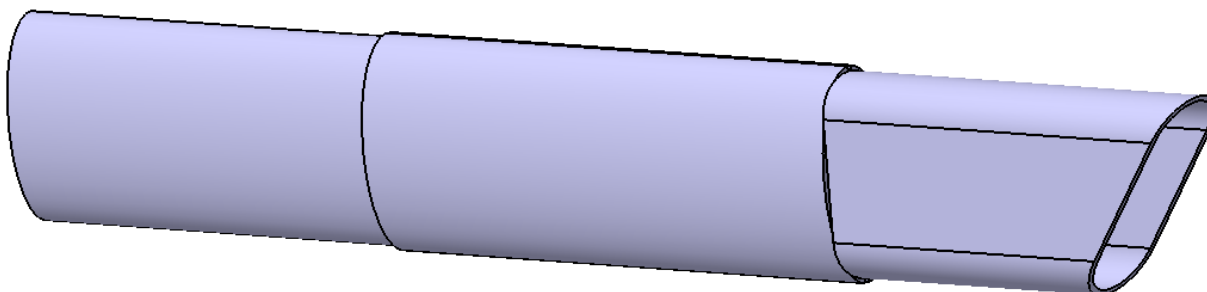


Figura 6-608. *Strut*-pieza 1: Resultado de segunda unión



7. **Conformado rotativo:** Utilizando el molde adecuado, obtenemos el elemento que se muestra:

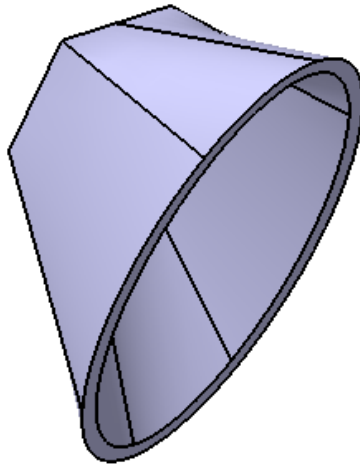


Figura 6-609. *Strut*-pieza 1: Resultado de conformado rotativo

8. **Soldadura 1:** Soldamos este componente al resto del conjunto.

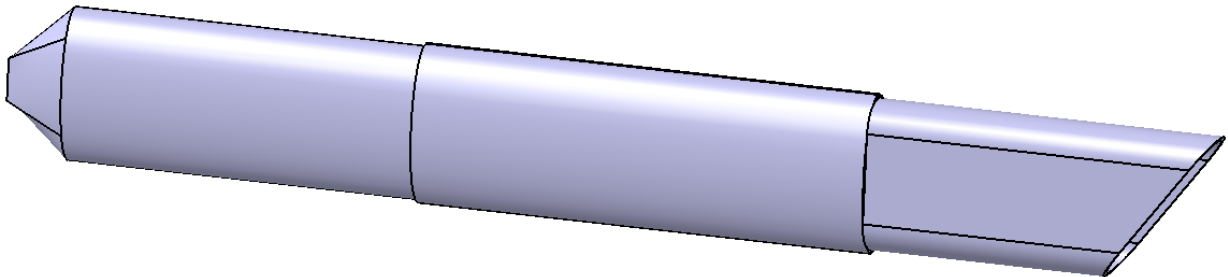


Figura 6-610. *Strut*-pieza 1: Resultado de soldadura 1

9. **Planeado por ambas caras (*Facing.1*, *Facing.2*):**

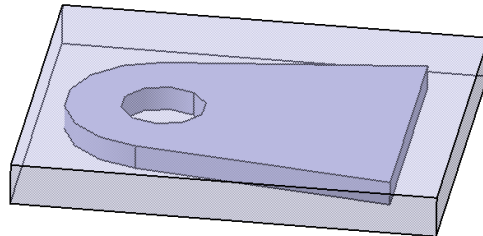


Figura 6-611. *Strut*-pieza 1: Preforma de placa de sujeción

- a. **Estrategia de mecanizado:** Ida y vuelta con una pasada de desbaste y una de acabado.
- b. **Geometría a mecanizar:** Caras superior e inferior de la preforma.
- c. **Herramienta:** Fresa de planeado ASX400-100B10R de Mitsubishi Materials (Figura 6-28, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- d. **Parámetros de corte:** Los definidos para mecanizado de acero con la herramienta de corte elegida. Estos parámetros los obtenemos de los catálogos de herramientas.
- e. **Macros:** Macros de aproximación, retirada y aclarado del usuario (6.4.1.7. *Macros en operaciones de mecanizado*).

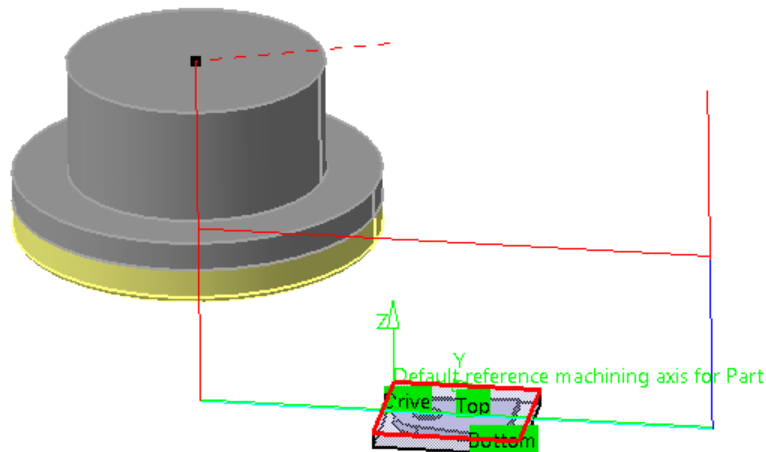


Figura 6-612. *Strut*-pieza 1: Trayectoria de planeado

#### 10. Contorneado (*Profile Contouring.1*):

- a. **Estrategia de mecanizado:** Zig- zag con una pasada de desbaste y una de acabado.
- b. **Geometría a mecanizar:** Contorno exterior de la pieza.
- c. **Herramienta:** Fresa periférico-frontal AM2MBR0200A060 de Mitsubishi Materials (Figura 6-36, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- d. **Parámetros de corte:** Los definidos para mecanizado de acero con la herramienta de corte elegida. Estos parámetros los obtenemos de los catálogos de herramientas.
- e. **Macros:** Macros de aproximación, retirada y aclarado del usuario (6.4.1.7. *Macros en operaciones de mecanizado*).

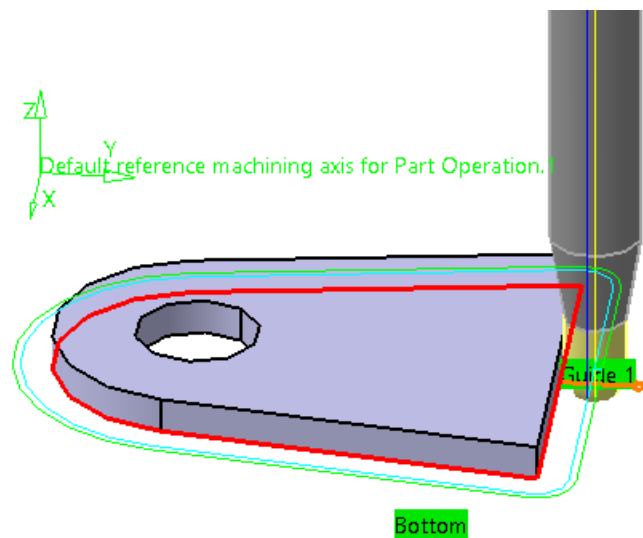


Figura 6-613. *Strut*-pieza 1: Trayectoria de contorneado

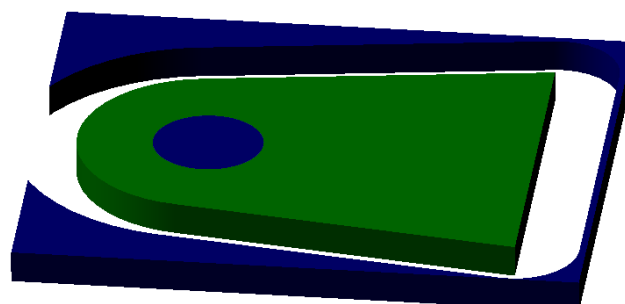
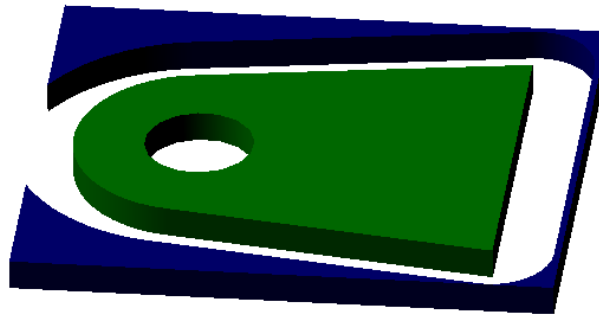
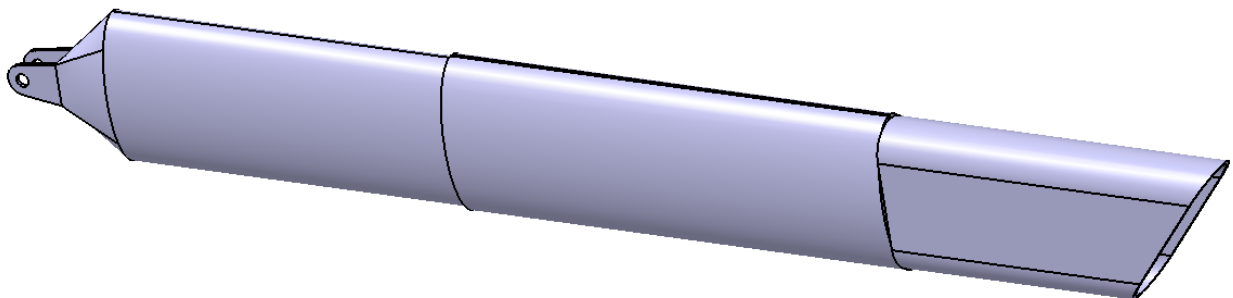


Figura 6-614. *Strut*-pieza 1: Resultado de contorneado



**11. Taladrado 1 (*Drilling.1, Drilling.4*):**

- a. **Estrategia de mecanizado:** Utilizamos la secuencia de taladrado 2.5-3.5-5.5-8mm.
- b. **Geometría a mecanizar:** Los agujeros de diámetro 8mm.
- c. **Herramientas:** Tomamos como referencia las brocas A2 2297 D2.5, A2 2297 D3.5, A2 2060 D5.5 y A2 2060 D8 de UNCETA (Figuras 6-42 a 6-50, apartado **6.3.3.5 Herramientas seleccionadas**).
- d. **Parámetros de corte:** Los definidos para mecanizado de acero con la herramienta de corte elegida. Estos parámetros los obtenemos de los catálogos de herramientas.
- e. **Macros:** Macros de aproximación y retirada del usuario para los taladros de la cara superior (**6.4.1.7. Macros en operaciones de mecanizado**).

Figura 6-615. *Strut*-pieza 1: Resultado de taladrado 1**12. Soldadura 2:** Soldamos estas pequeñas placas.Figura 6-616. *Strut*-pieza 1: Resultado de soldadura 2**13. Taladrado 2 (*Drilling.5-Drilling.10*):**

- a. **Estrategia de mecanizado:** Utilizamos las secuencias de taladrado 2.5-3.1 y 2.5-3.1-5mm. Transición entre agujeros a 10mm de la pieza.
- b. **Geometría a mecanizar:** Los agujeros de diámetro 3.1 y 5mm y aquellos para el alojamiento de tornillos.
- c. **Herramientas:** Tomamos como referencia las brocas A2 2297 D2.5, A2 2297 D3.1, A2 2060 D5 (Figura Figuras 6-42 a 6-50, apartado **6.3.3.5 Herramientas seleccionadas**).
- d. **Parámetros de corte:** Los definidos para mecanizado de acero con la herramienta de corte elegida. Estos parámetros los obtenemos de los catálogos de herramientas.
- e. **Macros:** Macros de aproximación y retirada del usuario para los taladros de la cara superior (**6.4.1.7. Macros en operaciones de mecanizado**).

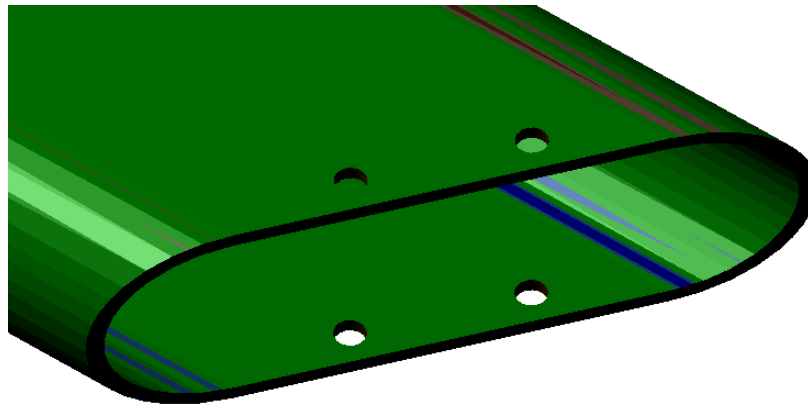


Figura 6-617. *Strut-pieza 1*: Resultado de taladrado 2 en detalle

Analizamos ahora la secuencia de mecanizado que da como resultado el segundo componente del soporte del tren de aterrizaje trasero. La preforma es un ortoedro de dimensiones 80 x 80 x 42mm.

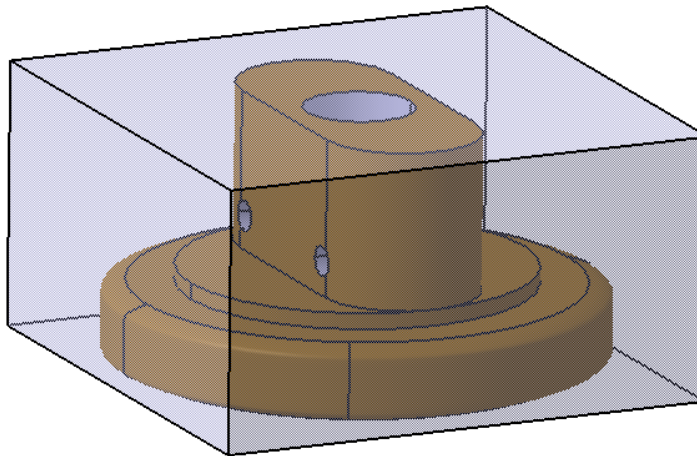
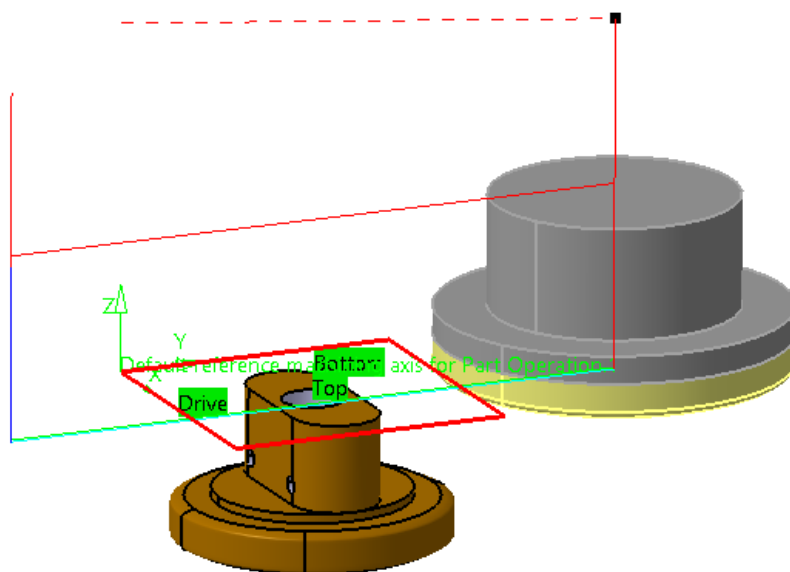


Figura 6-618. *Strut-pieza 2*: Preforma

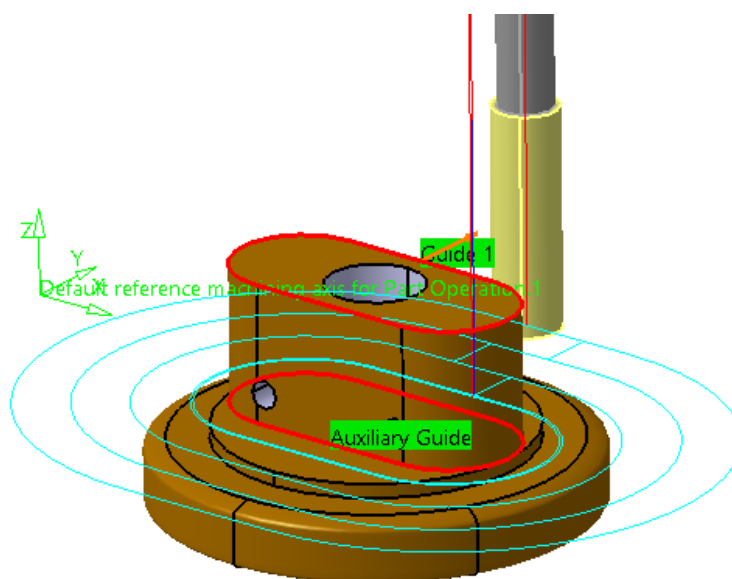
**1. Planeado por ambas caras (*Facing.1, Facing.2*):**

- a. **Estrategia de mecanizado:** Ida y vuelta con una pasada de desbaste y una de acabado.
- b. **Geometría a mecanizar:** Caras superior e inferior de la preforma.
- c. **Herramienta:** Fresa de planeado ASX400-100B10R de Mitsubishi Materials (Figura 6-28, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- d. **Parámetros de corte:** Los definidos para mecanizado de acero con la herramienta de corte elegida. Estos parámetros los obtenemos de los catálogos de herramientas.
- e. **Macros:** Macros de aproximación, retirada y aclarado del usuario (6.4.1.7. *Macros en operaciones de mecanizado*).

Figura 6-619. *Strut*-pieza 2: Trayectoria de planeado

## 2. Contorneado 1 (*Profile Contouring.1*):

- Estrategia de mecanizado:** Zig-zag con cuatro pasadas de desbaste y cuatro de acabado (mecanizado en cuatro niveles radiales).
- Geometría a mecanizar:** Contorno exterior de la parte superior de la pieza (rectángulo con semicírculos).
- Herramienta:** Fresa periférico-frontal VQJHVD1200 de Mitsubishi Materials (Figura 6-32, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- Parámetros de corte:** Los definidos para mecanizado de acero con la herramienta de corte elegida. Estos parámetros los obtenemos de los catálogos de herramientas.
- Macros:** Macros de aproximación, retirada y aclarado del usuario (6.4.1.7. *Macros en operaciones de mecanizado*).

Figura 6-620. *Strut*-pieza 2: Trayectoria de primer contorneado

## 3. Contorneado 2 (*Profile Contouring.2*):

- Estrategia de mecanizado:** Zig-zag con tres pasadas de desbaste y tres de acabado (mecanizado en tres niveles radiales).

- b. **Geometría a mecanizar:** Contorno exterior de la parte media de la pieza (cilindro de menor diámetro y espesor pequeño).
- c. **Herramienta:** Fresa periférico-frontal VQJHVD1200 de Mitsubishi Materials (Figura 6-32, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- d. **Parámetros de corte:** Los definidos para mecanizado de acero con la herramienta de corte elegida. Estos parámetros los obtenemos de los catálogos de herramientas.
- e. **Macros:** Macros de aproximación, retirada y aclarado del usuario (6.4.1.7. *Macros en operaciones de mecanizado*).

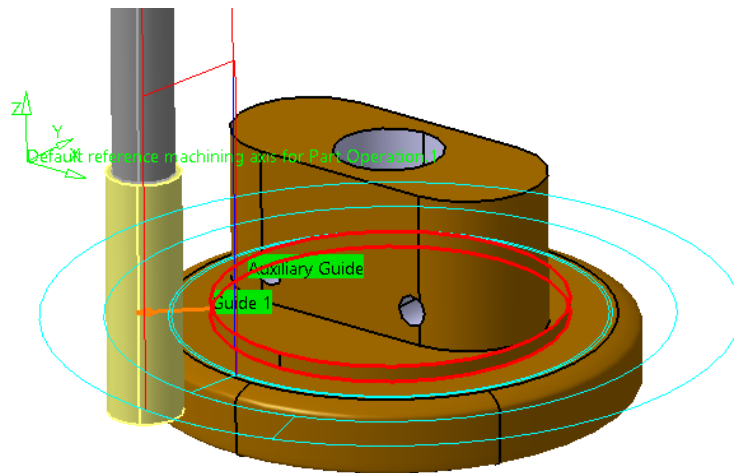


Figura 6-621. *Strut*-pieza 2: Trayectoria de segundo contorneado

#### 4. Contorneado 3 (*Profile Contouring.3*):

- a. **Estrategia de mecanizado:** Zig-zag con dos pasadas de desbaste y dos de acabado (mecanizado en dos niveles radiales).
- b. **Geometría a mecanizar:** Contorno exterior de la parte inferior de la pieza (cilindro de mayor diámetro y espesor).
- c. **Herramienta:** Fresa periférico-frontal VQJHVD1200 de Mitsubishi Materials (Figura 6-32, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- d. **Parámetros de corte:** Los definidos para mecanizado de acero con la herramienta de corte elegida. Estos parámetros los obtenemos de los catálogos de herramientas.
- e. **Macros:** Macros de aproximación, retirada y aclarado del usuario (6.4.1.7. *Macros en operaciones de mecanizado*).

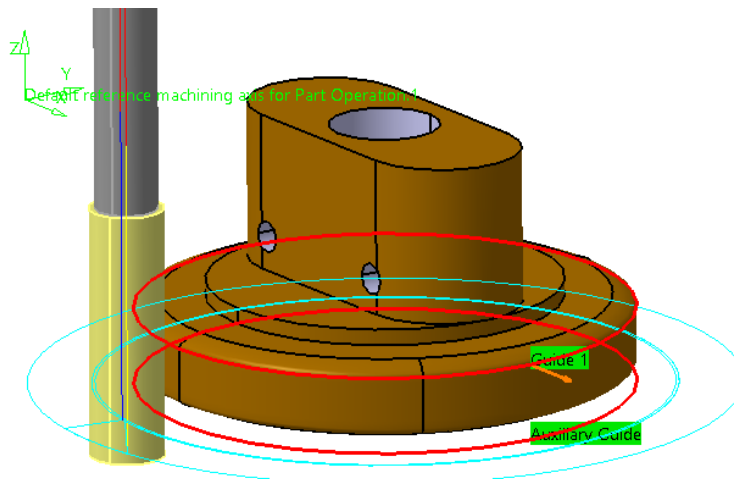


Figura 6-622. *Strut*-pieza 2: Trayectoria de tercer contorneado

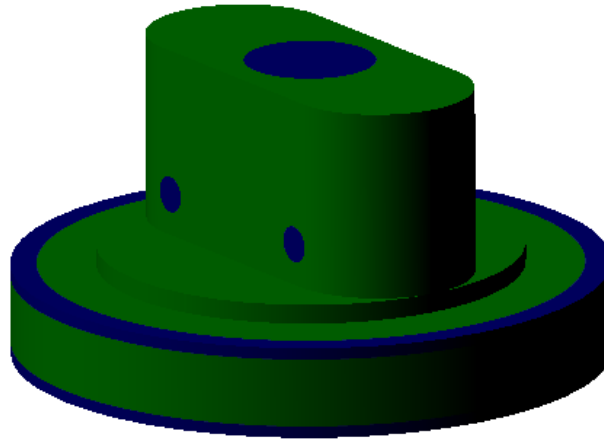


Figura 6-623. *Strut*-pieza 2: Resultado de contorneado

5. **Vaciado (*Pocketing.1*):**

- a. **Estrategia de mecanizado:** Helicoidal con una pasada de desbaste y una de acabado.
- b. **Geometría a mecanizar:** Vaciado de la parte superior de la pieza.
- c. **Herramienta:** Fresa periférico-frontal VQJHVD1200 de Mitsubishi Materials (Figura 6-32, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- d. **Parámetros de corte:** Los definidos para mecanizado de acero con la herramienta de corte elegida. Estos parámetros los obtenemos de los catálogos de herramientas.
- e. **Macros:** Macros de aproximación, retirada y aclarado del usuario (6.4.1.7. *Macros en operaciones de mecanizado*).

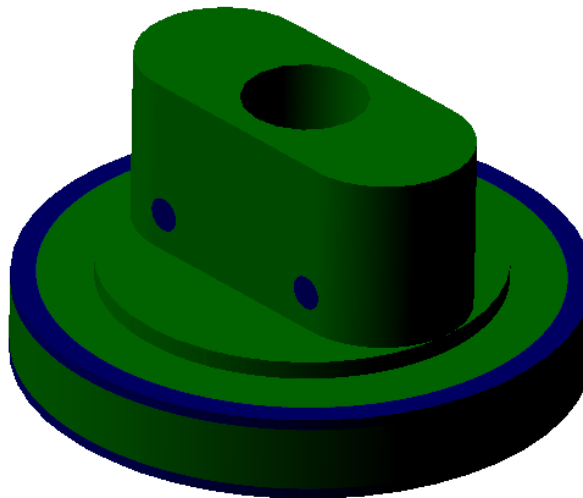


Figura 6-624. *Strut*-pieza 2: Resultado de vaciado

6. **Taladrado (*Drilling.1-Drilling.3*):**

- a. **Estrategia de mecanizado:** Utilizamos las secuencias de taladrado 2.5-3.5-5mm. Transición entre agujeros a 10mm de la pieza.
- b. **Geometría a mecanizar:** Los agujeros de diámetro 5mm.
- c. **Herramientas:** Tomamos como referencia las brocas A2 2297 D2.5, A2 2297 D3.5, A2 2060 D5 (Figura Figuras 6-42 a 6-50, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- d. **Parámetros de corte:** Los definidos para mecanizado de acero con la herramienta de corte elegida. Estos parámetros los obtenemos de los catálogos de herramientas.
- e. **Macros:** Macros de aproximación y retirada del usuario para los taladros de la cara superior

#### 6.4.1.7. Macros en operaciones de mecanizado).

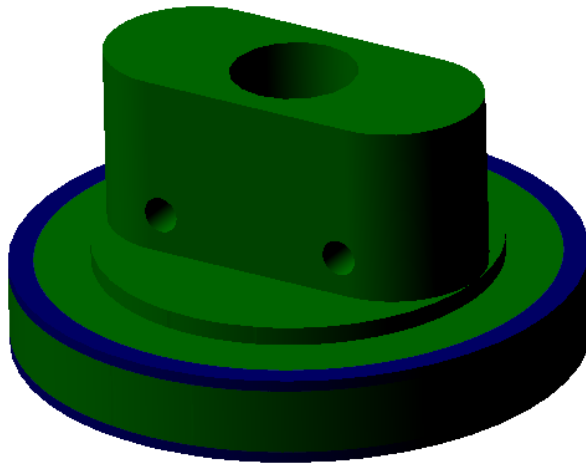


Figura 6-625. *Strut*-pieza 2: Resultado de taladrado

### 7. Mecanizado isoparamétrico (*Isoparametric Machinning.I*):

- a. **Estrategia de mecanizado:** Una pasada de desbaste.
- b. **Geometría a mecanizar:** Esquinas redondeadas de la parte inferior de la pieza.
- c. **Herramienta:** Fresa periférico-frontal AM2MBR0200A060 de Mitsubishi Materials (Figura 6-36, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- d. **Parámetros de corte:** Los definidos para mecanizado de acero con la herramienta de corte elegida. Estos parámetros los obtenemos de los catálogos de herramientas.
- e. **Macros:** Macros definidas por defecto en CATIA.

#### 6.11.2.2 Yoke

Pieza que se coloca concéntrica con la pieza 2 de *strut* y permite el giro de la rueda. La fabricación de esta pieza es muy compleja, por lo que procederíamos a la restauración de la pieza original del avión o su encargo a un proveedor especializado.

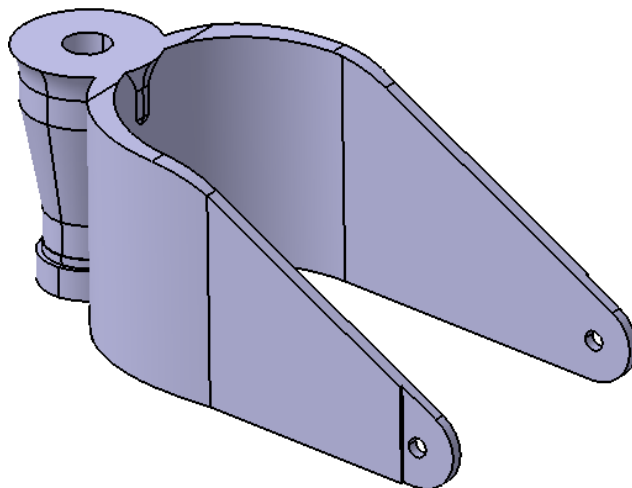


Figura 6-626. *Yoke* modelado en CATIA

Necesitaríamos realizar operaciones de **torneado** (refrentado, cilindrado, escariado, tronzado...), **planeado**, **contorneado**, **doblado de chapa**, **taladrado**, **soldadura**...

### 6.11.2.3 Rueda

La rueda está compuesta por una llanta de diámetro 124mm y un neumático de diámetro 248mm y grosor 63mm. Se encarga a un proveedor especializado en este tipo de material.

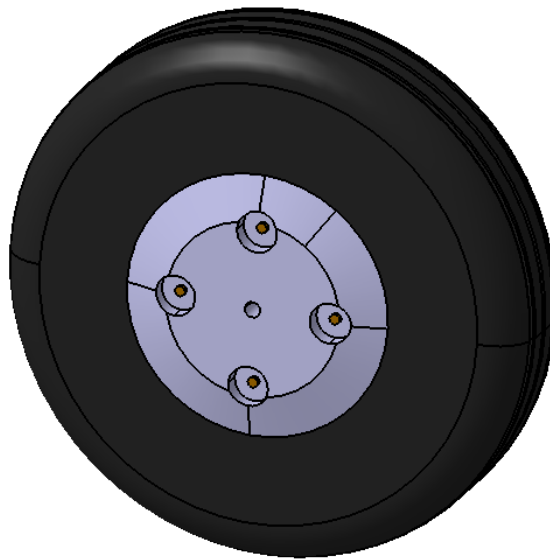


Figura 6-627. Rueda tren fijo modelada en CATIA

### 6.11.2.4 Ensamblaje del tren de aterrizaje fijo

El primer paso es unir los dos componentes del *strut*. Para ello utilizamos tornillos de diámetro 5mm y longitud 40mm con sus correspondientes arandelas y tuercas.

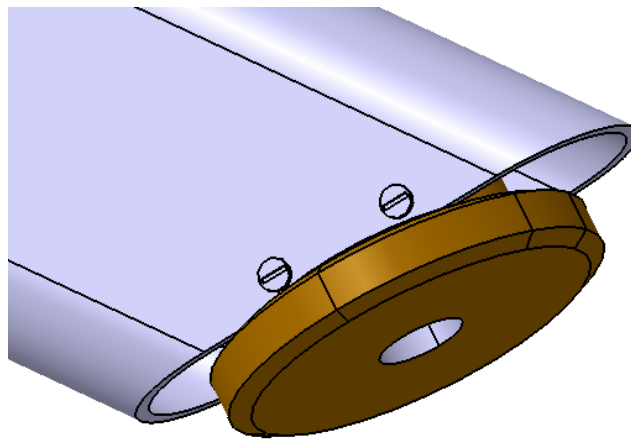


Figura 6-628. Tren de aterrizaje fijo: Unión atornillada de partes del *strut*

Posteriormente se unen *strut* y *yoke* mediante un perno y su correspondiente tuerca. La parte roscada sólo afecta al *strut*, quedando libre la rotación del *yoke* alrededor del propio perno. El perno es de diámetro 17mm y longitud 150mm.

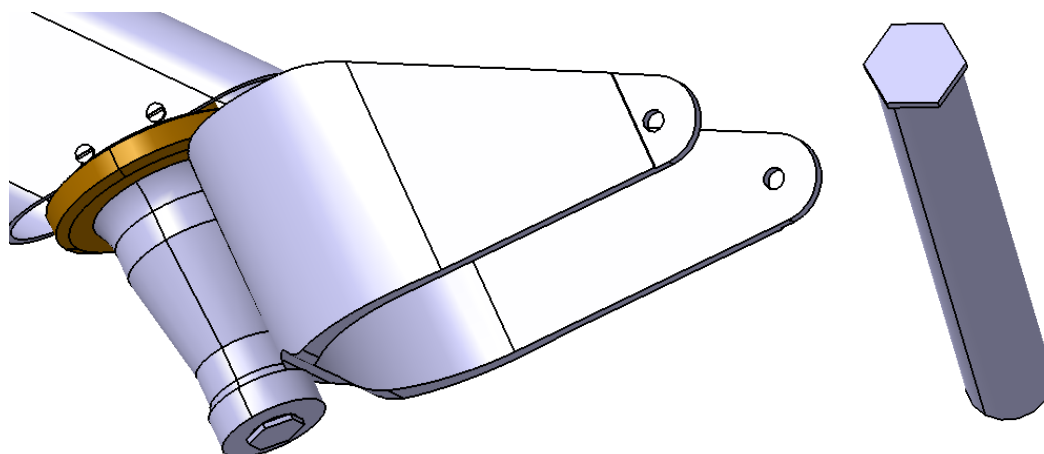


Figura 6-629. Tren de aterrizaje fijo: Unión con perno

Por último se unen *yoke* y la rueda. Para esta unión se cuenta con una pieza diseñada a tal efecto. Podemos observar la complejidad de la sujeción utilizada para efectuar esta unión en la imagen a continuación.

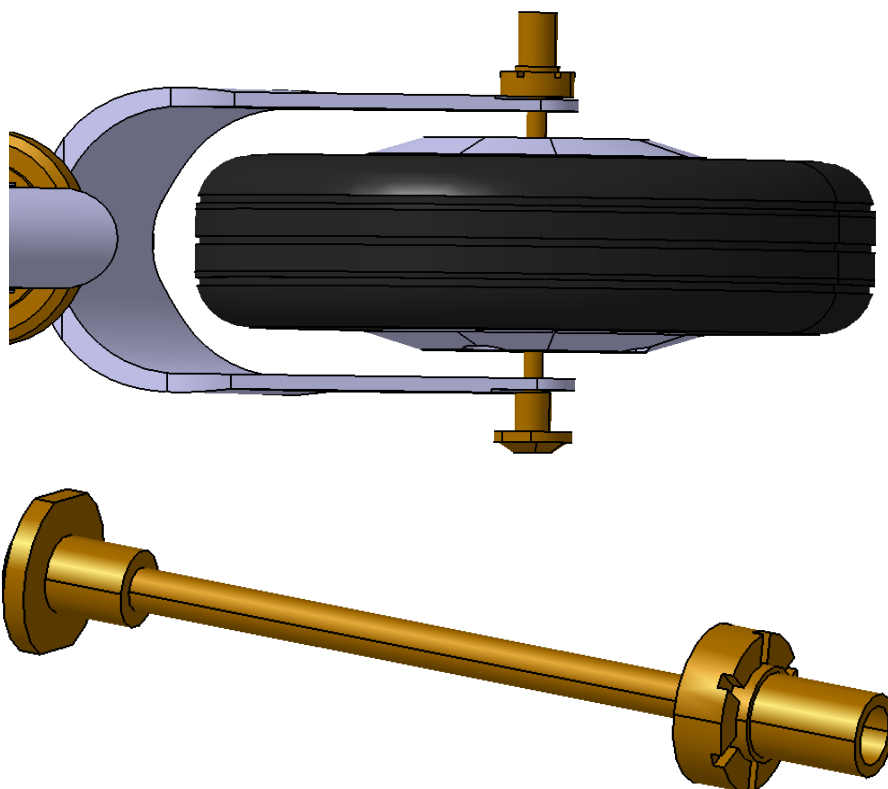


Figura 6-630. Tren de aterrizaje fijo: Unión entre rueda y *yoke*

### 6.11.3 Tren de aterrizaje retráctil

El tren de aterrizaje retráctil, como su nombre indica, es aquel que se puede retraer en vuelo. La lógica de retracción/extensión responde a un determinado rango de velocidades indicado por el fabricante de manera que el tren no puede estar extendido por encima de una determinada velocidad. En el caso del Spitfire, el tren de aterrizaje se aloja en el ala cuando es retraído.

Además de estar compuesto por sistemas de amortiguación, ruedas y frenos, este tipo de tren consta de un sistema de retracción/extensión con bloqueo de patas en posición extendida. En nuestro caso el sistema de retracción/extensión es hidráulico.



### 6.11.3.1 Oleo strut

Se trata de la pieza con mayor complejidad del conjunto. Esta pieza aloja en su interior el sistema de amortiguación del tren de aterrizaje retráctil y su diseño está especialmente calculado para soportar el impacto del caza con el suelo en el momento del aterrizaje. Por la complejidad del diseño y por tratarse de un punto crítico del avión (debido a su funcionalidad), la fabricación de este componente seguirá un proceso muy específico. Por ello, optamos porque la restauración o fabricación de este componente sea responsabilidad de un proveedor especializado en el diseño, cálculo y fabricación de trenes de aterrizaje.

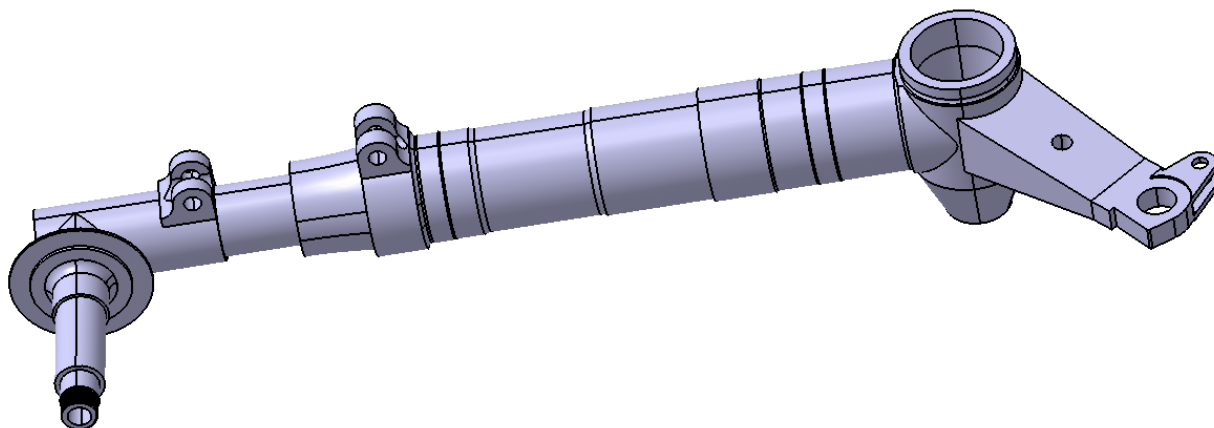


Figura 6-631. *Oleo strut* modelado en CATIA

### 6.11.3.2 Port pintle

Este componente del tren de aterrizaje retráctil nos permite la fijación de la pata al resto de la estructura del avión, en este caso a través de la unión con el ala/fuselaje. Está diseñado de forma que permita el giro del *oleo strut* para la retracción del tren y su alojamiento en el ala.

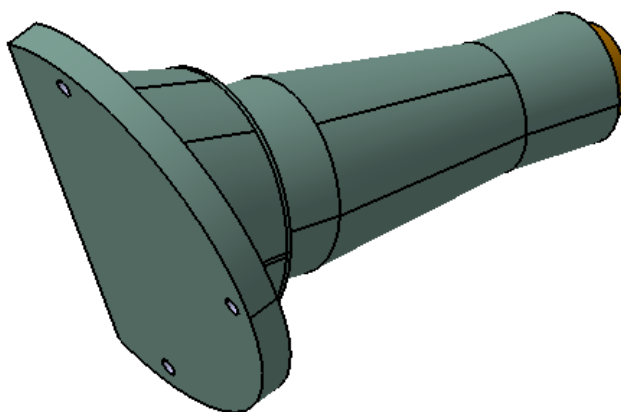


Figura 6-632. *Port pintle* modelado en CATIA

A continuación enumeramos las operaciones seguidas para la obtención de la pieza:

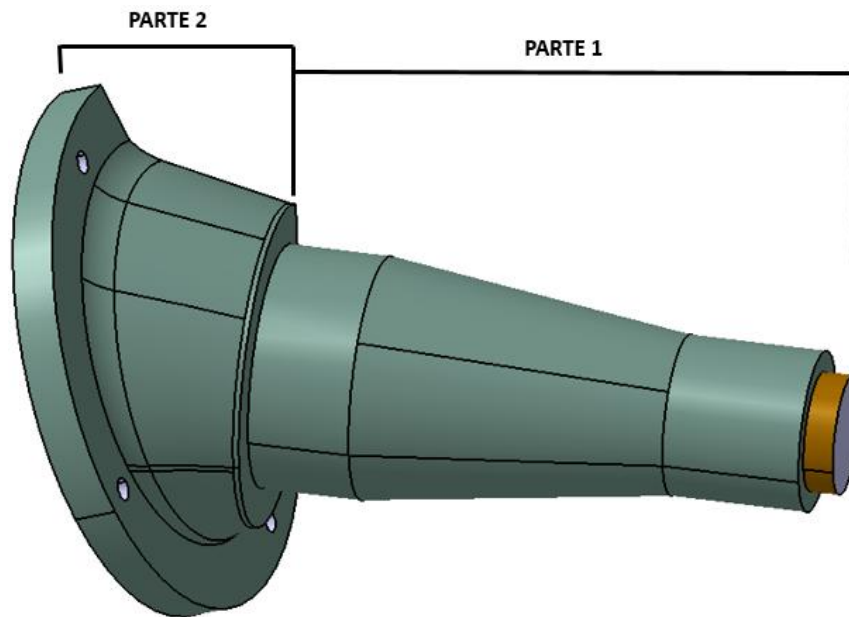


Figura 6-633. *Port pintle*: Partes

Para la parte 1 realizamos operaciones en torno y para la parte 2 en nuestro centro de mecanizado de 3 ejes:

1. **Laminación:** Con este proceso obtenemos una barra de dimensiones mayores a las máximas.
2. **Torneado:**
  - a. **Refrentado** de la superficie delantera.
  - b. **Cilindrado** de diámetro 40mm y profundidad 10mm.
  - c. **Cilindrado** de diámetro 54mm y profundidad 46mm.
  - d. **Torneado cónico** de diámetro 54mm a 81.5mm y profundidad 103mm.
  - e. **Cilindrado** de diámetro 81.5mm y profundidad 34mm.
  - f. **Cilindrado** de diámetro 108mm y profundidad 2mm.
  - g. **Cilindrado** de diámetro 180mm y profundidad 80mm.
  - h. **Tronzado.**

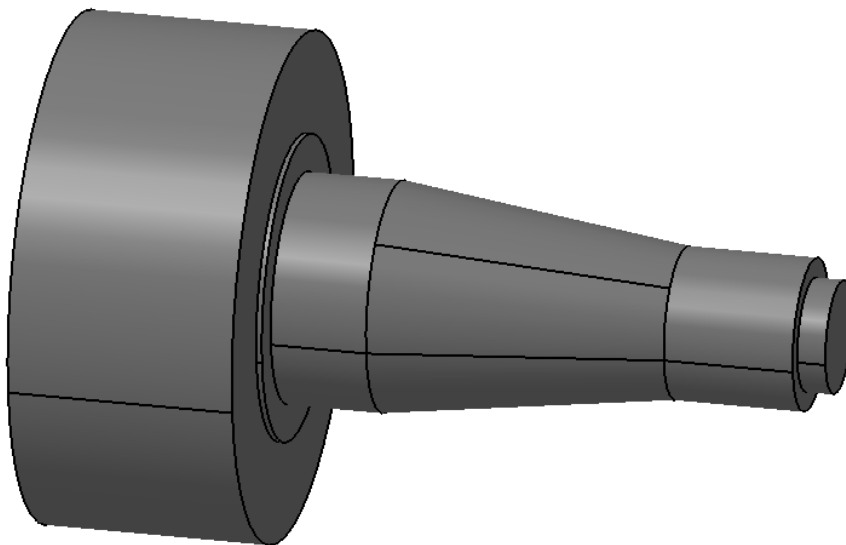


Figura 6-634. *Port pintle*: Preforma

### 3. Planeado (*Facing.I*):

- a. **Estrategia de mecanizado:** Ida y vuelta con tres pasadas de desbaste y una de acabado.
- b. **Geometría a mecanizar:** Cara anterior de la preforma.
- c. **Herramienta:** Fresa de planeado ASX400-100B10R de Mitsubishi Materials (Figura 6-28, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- d. **Parámetros de corte:** Los definidos para mecanizado de aleaciones de aluminio con la herramienta de corte elegida (Figura 6-29, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- e. **Macros:** Macros de aproximación, retirada y aclarado del usuario (6.4.1.7. *Macros en operaciones de mecanizado*).

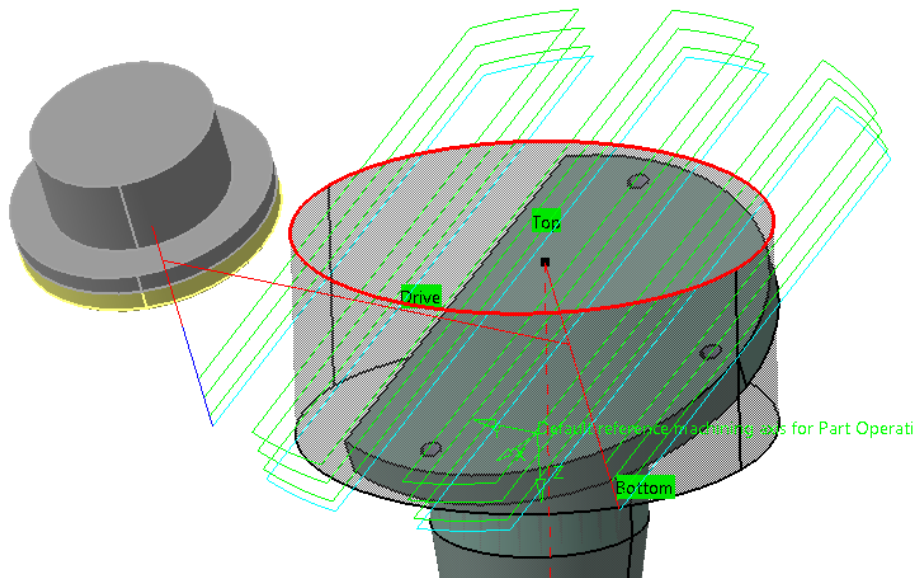


Figura 6-635. *Port pintle*: Trayectoria de planeado

### 4. Contorneado 1 (*Profile Contouring.I*):

- a. **Estrategia de mecanizado:** Zig-zag con ocho pasadas de desbaste y cuatro de acabado (mecanizado en dos niveles radiales y cuatro axiales).
- b. **Geometría a mecanizar:** Contorno exterior de la pieza.
- c. **Herramienta:** Fresa periférico-frontal IMX25C3A280R32023 de Mitsubishi Materials (Figura 6-30, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- d. **Parámetros de corte:** Los definidos para mecanizado de aleaciones de aluminio con la herramienta de corte elegida (Figura 6-31, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- e. **Macros:** Macros de aproximación, retirada y aclarado del usuario (6.4.1.7. *Macros en operaciones de mecanizado*).

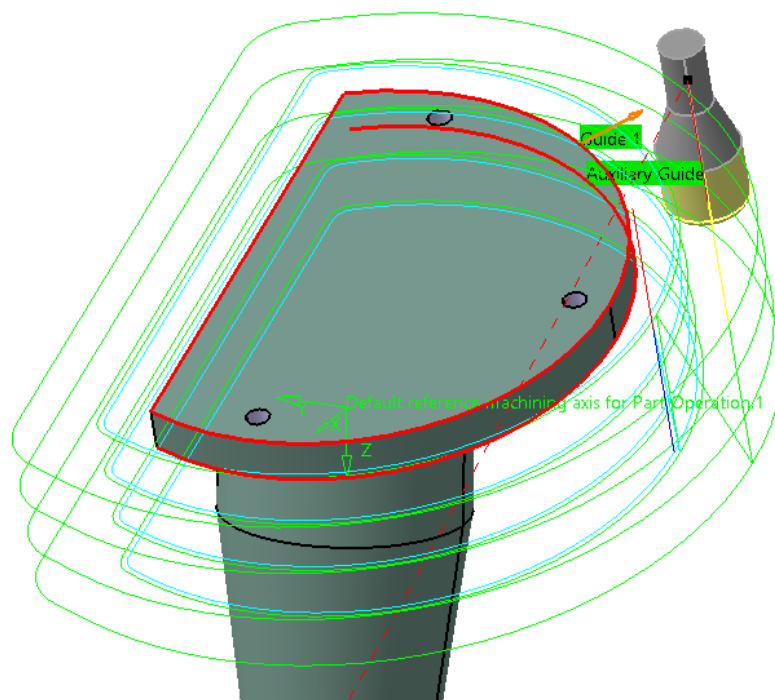


Figura 6-636. *Port pintle*: Trayectoria de contorneado 1

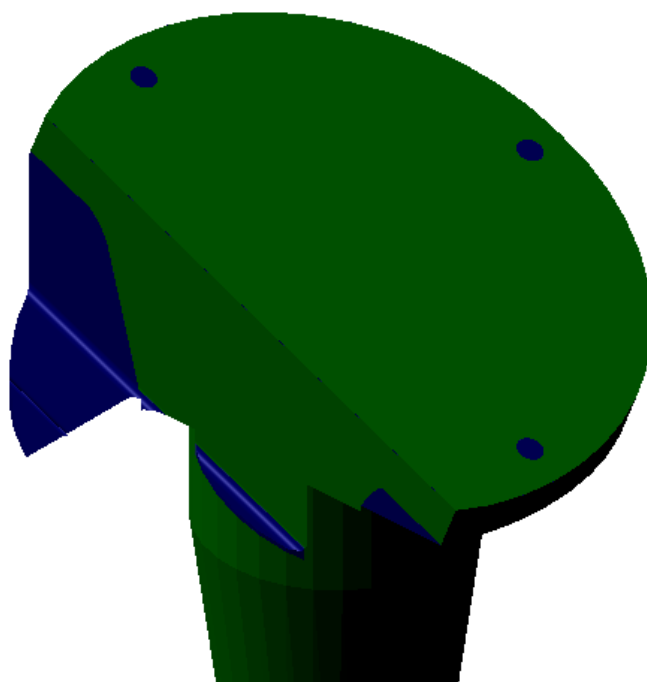


Figura 6-637. *Port pintle*: Resultado de contorneado 1

#### 5. Contorneado 2 (*Profile Contouring.2*):

- a. **Estrategia de mecanizado:** Zig-zag con una pasada de desbaste y una de acabado.
- b. **Geometría a mecanizar:** Contorno exterior de la pieza.
- c. **Herramienta:** Fresa periférico-frontal IMX25C3A280R32023 de Mitsubishi Materials (Figura 6-30, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- d. **Parámetros de corte:** Los definidos para mecanizado de aleaciones de aluminio con la herramienta de corte elegida (Figura 6-31, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- e. **Macros:** Macros de aproximación, retirada y aclarado del usuario (6.4.1.7. *Macros en operaciones de mecanizado*).

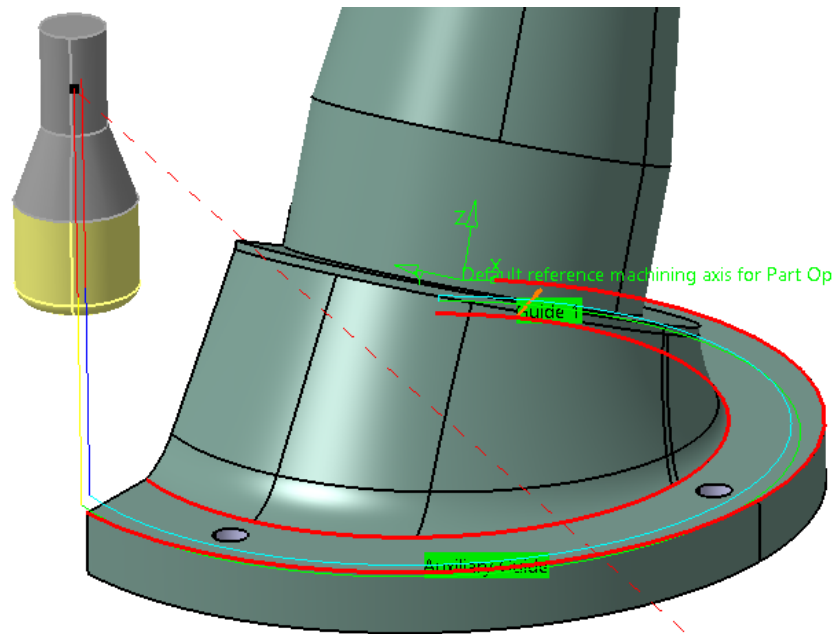


Figura 6-638. *Port pintle*: Trayectoria de contorno 2



Figura 6-639. *Port pintle*: Resultado de contorno 2

#### 6. Barrido (*Sweeping.I*):

- a. **Estrategia de mecanizado:** Zig-zag.
- b. **Geometría a mecanizar:** Material sobrante de la preforma respecto de la pieza final (en azul en la figura anterior).
- c. **Herramienta:** Fresa periférico-frontal, tomando como referencia la fresa AM2MBR0200A060 de Mitsubishi Materials (Figura 6-36, apartado **6.3.3.5 Herramientas seleccionadas**).
- d. **Parámetros de corte:** Los definidos para mecanizado de aleaciones de aluminio con la herramienta de corte elegida (Figura 6-37, apartado **6.3.3.5 Herramientas seleccionadas**).
- e. **Macros:** Definidas por defecto en CATIA.

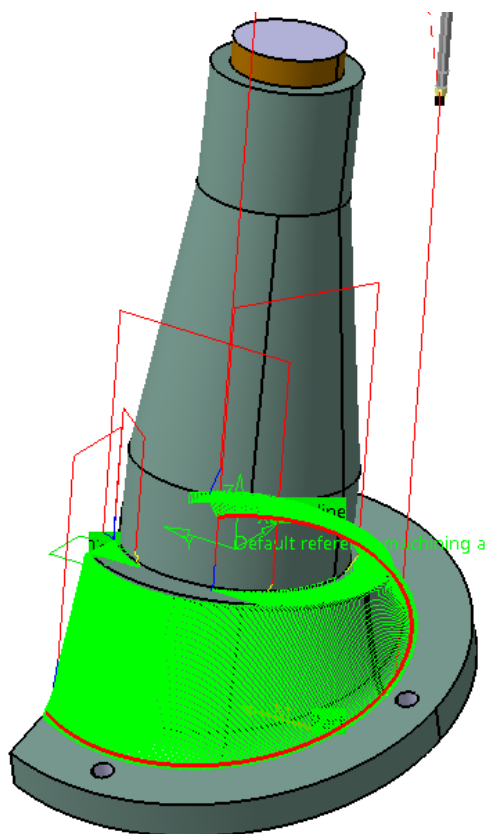


Figura 6-640. *Port pintle*: Trayectoria de barrido

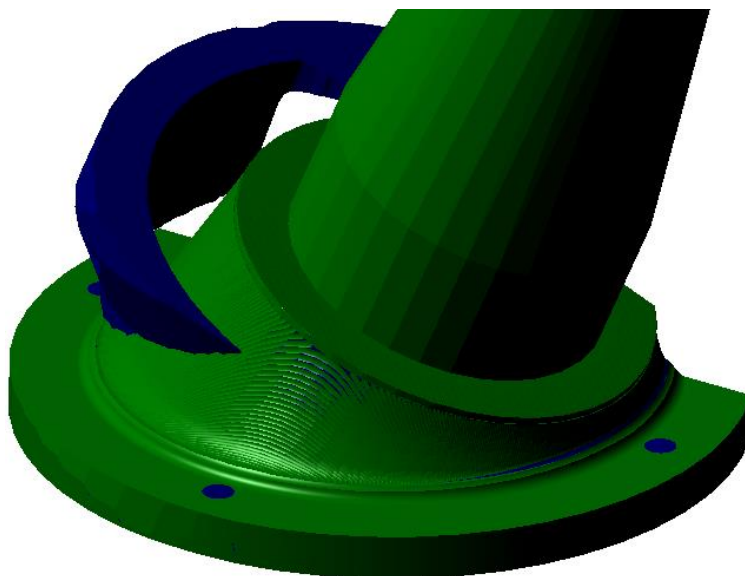


Figura 6-641. *Port pintle*: Resultado de barrido

## 7. Taladrado (*Drilling.1-Drilling.4*):

- a. **Estrategia de mecanizado:** Utilizamos las secuencias de taladrado 2.5-3.5-5-8mm. Transición entre agujeros a 10mm de la pieza.
- b. **Geometría a mecanizar:** Los agujeros de diámetro 8mm.
- c. **Herramientas:** Tomamos como referencia las brocas A2 2297 D2.5, A2 2297 D3.5, A2 2060 D5 y A2 2060 D8 (Figuras 6-42 a 6-50, apartado **6.3.3.5 Herramientas seleccionadas**).
- d. **Parámetros de corte:** Los definidos para mecanizado de aleaciones de aluminio con la herramienta de corte elegida (Tabla 6-1, apartado **6.3.3.5 Herramientas seleccionadas**).
- e. **Macros:** Macros de aproximación y retirada del usuario para los taladros de la cara superior

#### 6.4.1.7. Macros en operaciones de mecanizado).

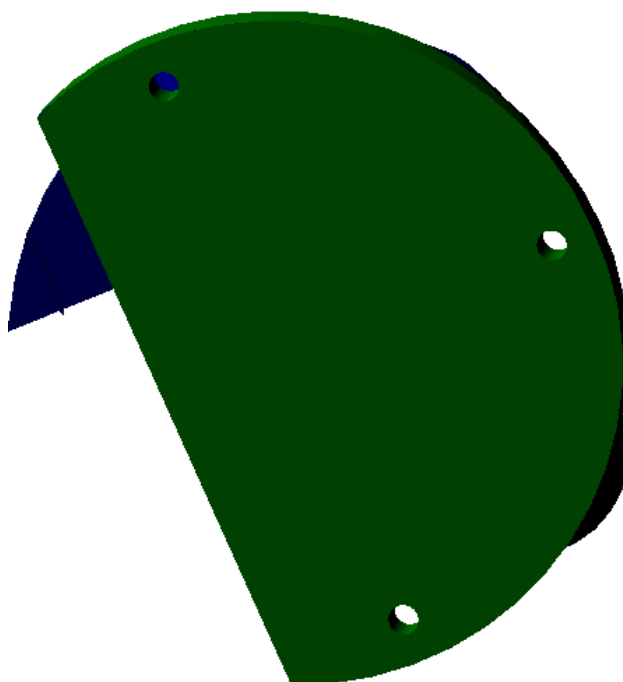


Figura 6-642. Port pintle: Resultado de taladrado

Deberíamos mejorar el acabado superficial de la operación de barrido. Como alternativa para la fabricación de esta pieza, podríamos obtenerla por fundición a partir de un molde adecuado. Sin embargo, como tendríamos que fabricar el molde y en el avión sólo hay dos unidades de esta pieza, creemos más conveniente su fabricación por mecanizado.

#### 6.11.3.3 Rueda

Al igual que ocurría con el tren de aterrizaje fijo, la rueda se encargará a un proveedor especializado. Está compuesta por una llanta de diámetro 340mm y un neumático de diámetro 625mm y grosor 156mm

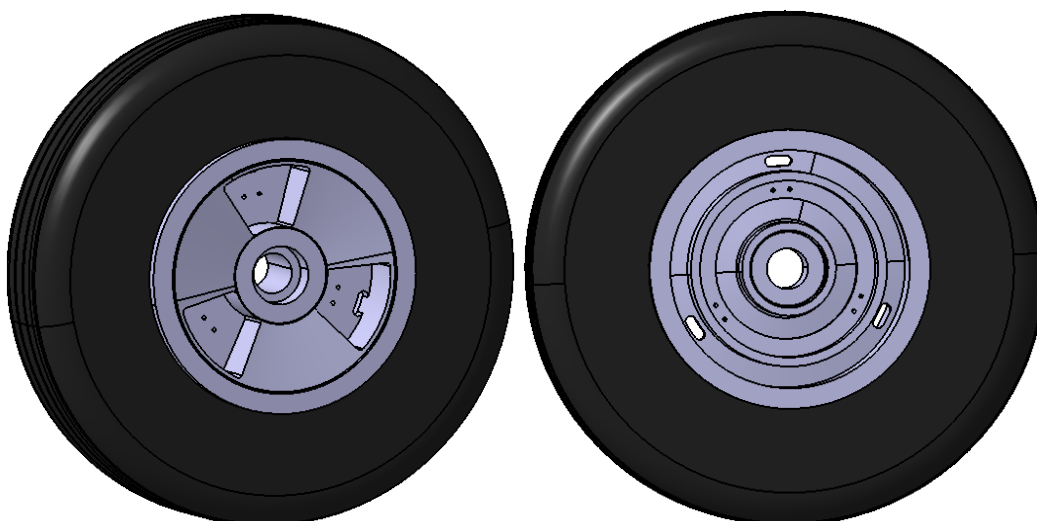


Figura 6-643. Rueda tren retráctil modelada en CATIA

#### 6.11.3.4 Recubrimiento tren retráctil

Este recubrimiento tiene como objetivo hacer más aerodinámico el tren de aterrizaje retráctil cuando este se encuentra recogido en vuelo. La superficie está diseñada de forma que copia la curvatura del ala para así generar la menor resistencia aerodinámica posible.

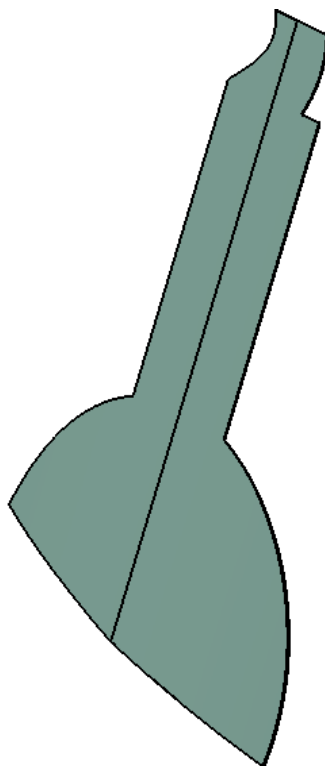


Figura 6-644. Recubrimiento del tren retráctil modelado en CATIA

A continuación exponemos el procedimiento seguido para la obtención de la pieza. La preforma es una chapa de aluminio de 750 x 995 x 4mm.

**1. Planeado por ambas caras (*Facing.1, Facing.2*):**

- a. **Estrategia de mecanizado:** Ida y vuelta con una pasada de desbaste y una de acabado.
- b. **Geometría a mecanizar:** Cara superior e inferior de la preforma.
- c. **Herramienta:** Fresa de planeado ASX400-100B10R de Mitsubishi Materials (Figura 6-28, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- d. **Parámetros de corte:** Los definidos para mecanizado de aleaciones de aluminio con la herramienta de corte elegida (Figura 6-29, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).
- e. **Macros:** Macros de aproximación, retirada y aclarado del usuario (6.4.1.7. *Macros en operaciones de mecanizado*).

**2. Doblado de chapa para obtener la chapa de la siguiente figura:**

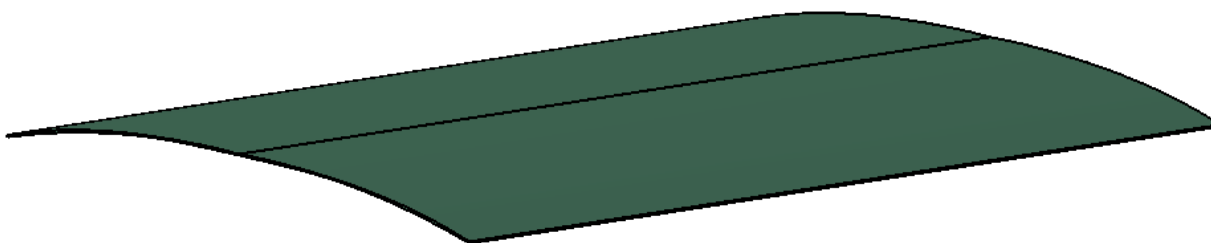


Figura 6-645. Recubrimiento del tren retráctil: Resultado de doblado de chapa

**3. Contorneado (*Profile Contouring.1*):**

- a. **Estrategia de mecanizado:** Zig-zag con una pasada de desbaste y una de acabado.
- b. **Geometría a mecanizar:** Contorno exterior de la pieza.
- c. **Herramienta:** Fresa periférico-frontal AM2MBR0200A060 de Mitsubishi Materials (Figura 6-36, apartado 6.3.3.5 *Herramientas seleccionadas*).



- d. **Parámetros de corte:** Los definidos para mecanizado de aleaciones de aluminio con la herramienta de corte elegida (Figura 6-37, apartado **6.3.3.5 Herramientas seleccionadas**).
- e. **Macros:** Macros de aproximación, retirada y aclarado del usuario (**6.4.1.7. Macros en operaciones de mecanizado**).

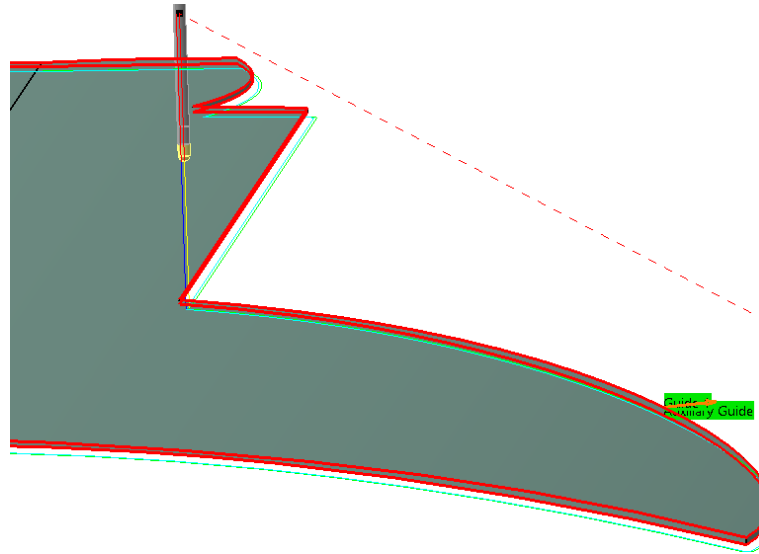


Figura 6-646. Recubrimiento del tren retráctil: Trayectoria de contorno

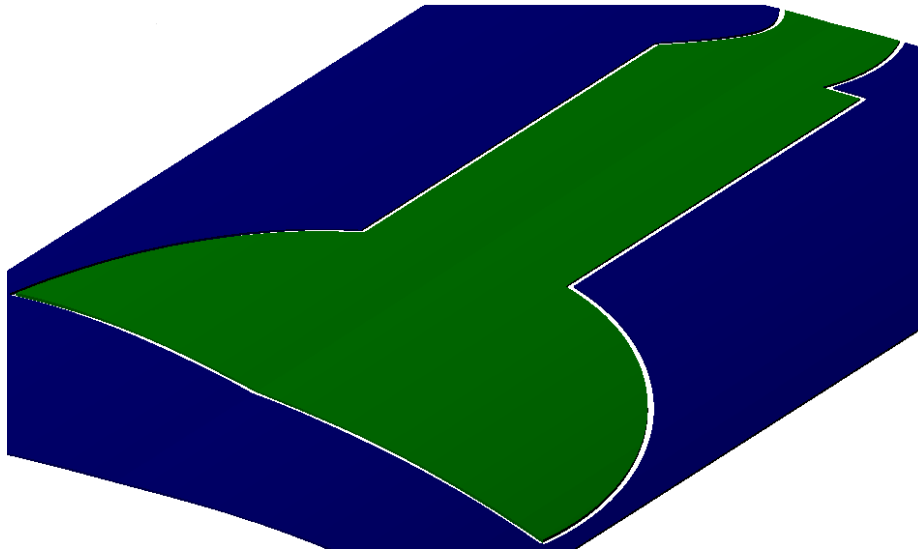


Figura 6-647. Recubrimiento del tren retráctil: Resultado de contorno

### 6.11.3.5 Ensamblaje del tren de aterrizaje retráctil

Para el ensamblaje del tren de aterrizaje retráctil, seguimos la siguiente secuencia:

1. **Unión mecánica oleo strut-port pintle:** Colocamos el *port pintle* en su posición final, alojado en el *oleo strut*.

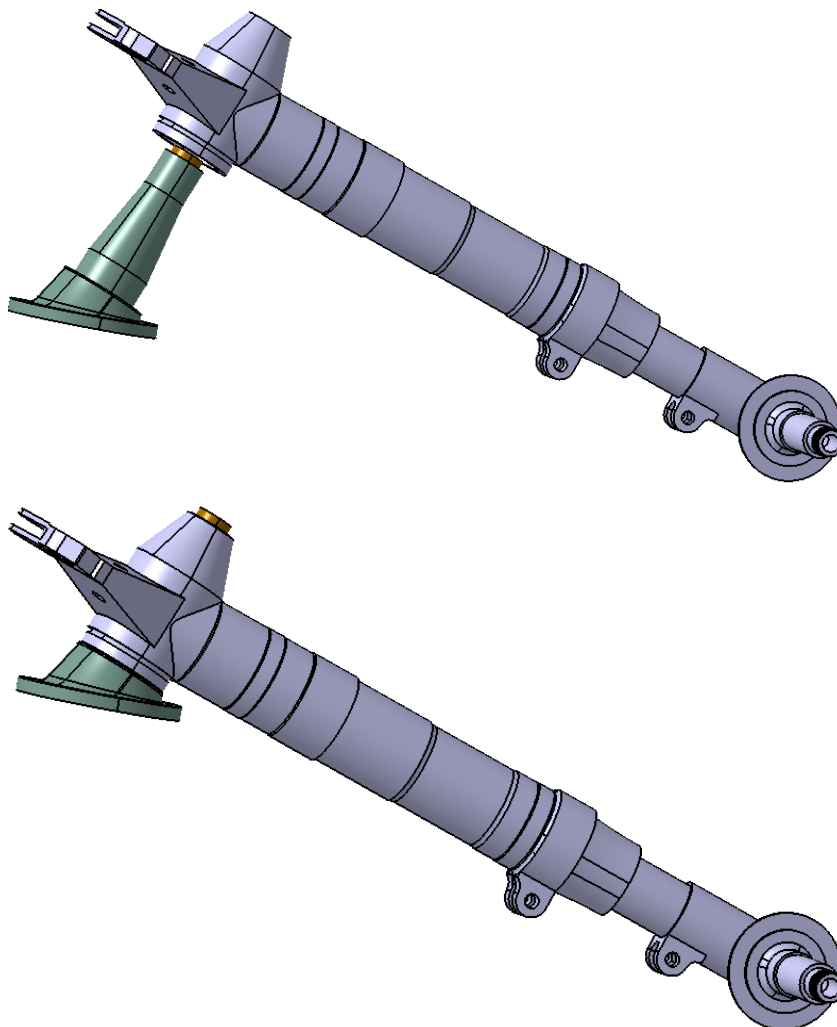


Figura 6-648. Tren de aterrizaje retráctil: Unión mecánica oleo strut-port pintle

2. **Unión remachada oleo strut-recubrimiento:** Unimos mediante remachado estas dos partes. Antes habría que taladrar ambas piezas en las posiciones reservadas para el remachado. Hay que tener en cuenta que las posiciones de taladrado del *oleo strut* vienen definidas por diseño al tratarse una pieza que aloja sistemas de amortiguación. Para las operaciones de remachado usamos remaches ciegos y una remachadora hidroneumática Cherry.

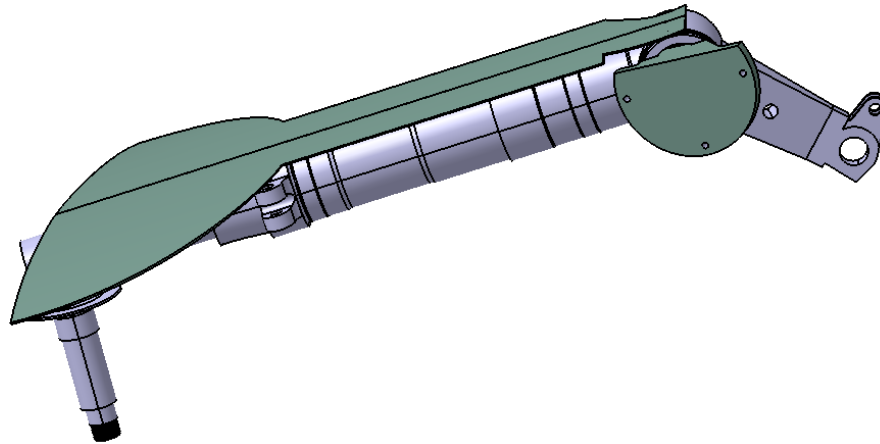


Figura 6-649. Tren de aterrizaje retráctil: Unión remachada oleo strut-recubrimiento

3. **Unión atornillada rueda-oleo strut:** Por último, se unen la rueda y el *oleo strut*. Para ello hacemos pasar la rueda por la barra inferior del *oleo strut* hasta que haga tope y fijamos con una tuerca

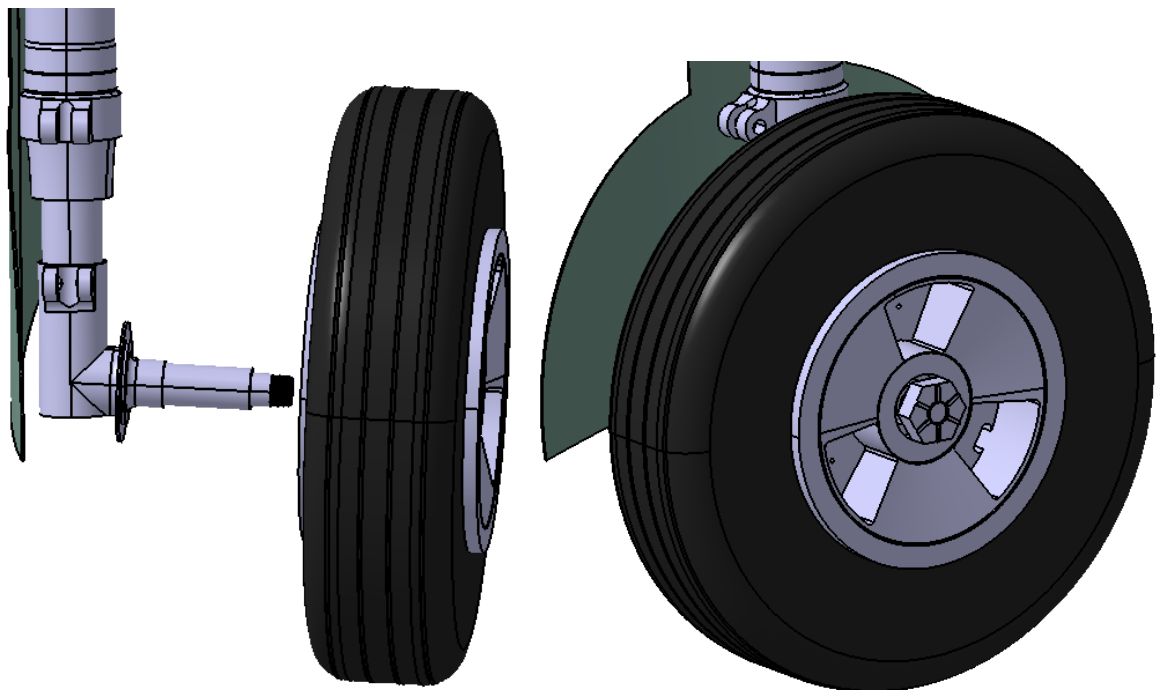


Figura 6-650. Tren de aterrizaje retráctil: Unión atornillada rueda-oleo strut

#### 6.11.3.5.1 Ensamblaje del tren de aterrizaje retráctil: Máquinas y herramientas utilizadas

Véase apartados 6.3.4 *Máquinas* y 6.3.5.5 *Herramientas seleccionadas*.

- Taladro tipo pistola.
  - Brocas de diámetro desconocido.
  - Escariadores de diámetro desconocido.
- Remachadora neumática para remaches ciegos.
  - Boquilla adecuada para el diámetro del remache.

## 6.12 Ensamblaje de la aeronave completa

Para el ensamblaje de los diferentes módulos de la aeronave nos centraremos en el fuselaje, sobre el que se irán acoplando el resto de módulos. No tenemos datos específicos del proceso de ensamblaje del Spitfire por lo que haremos una visión global del proceso:

- **Fuselaje-Cowling:** Se unen las secciones mediante la técnica de **remachado orbital**. Actualmente existen novedosos métodos para aplicar esta técnica, como los usados por Airbus en sus diferentes factorías. Para ello, disponen de robots que realizan las operaciones taladrado y remachado de acuerdo a una secuencia cuidadosamente programada.

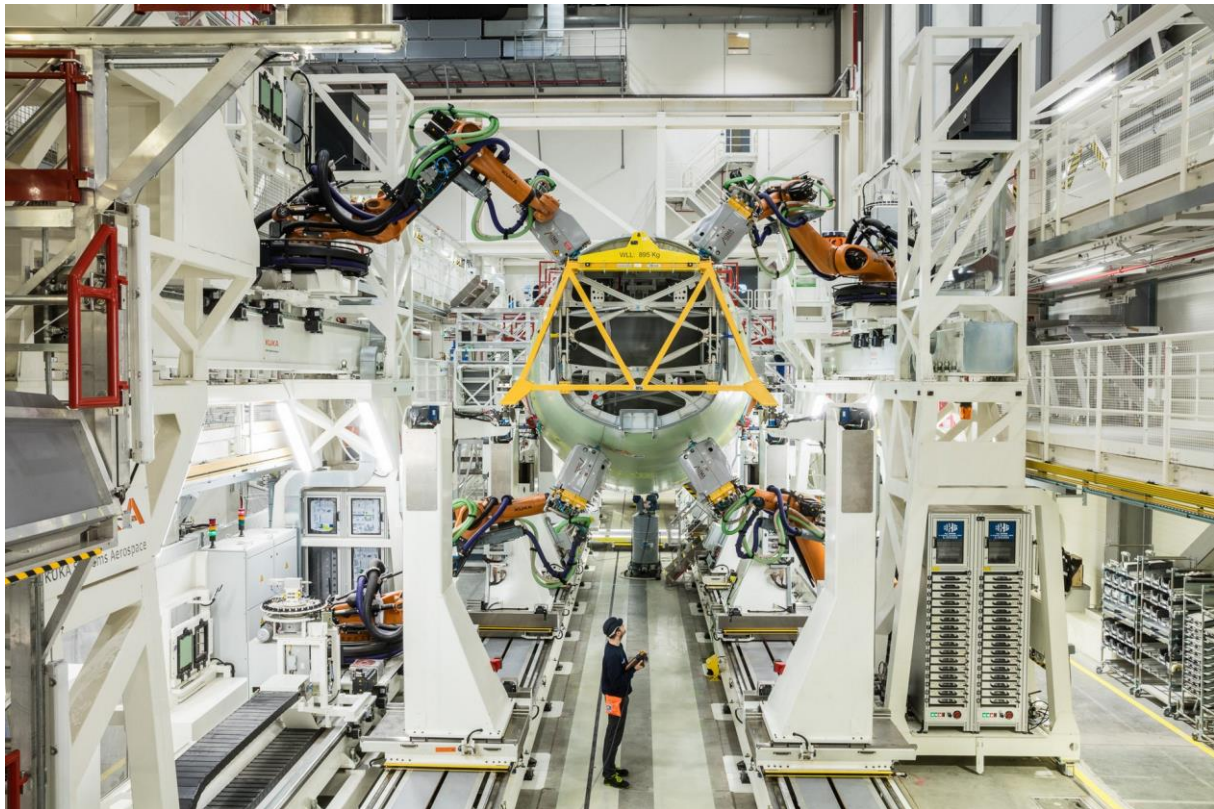


Figura 6-651. *Final Assembly Line (FAL)* de Airbus Hamburg

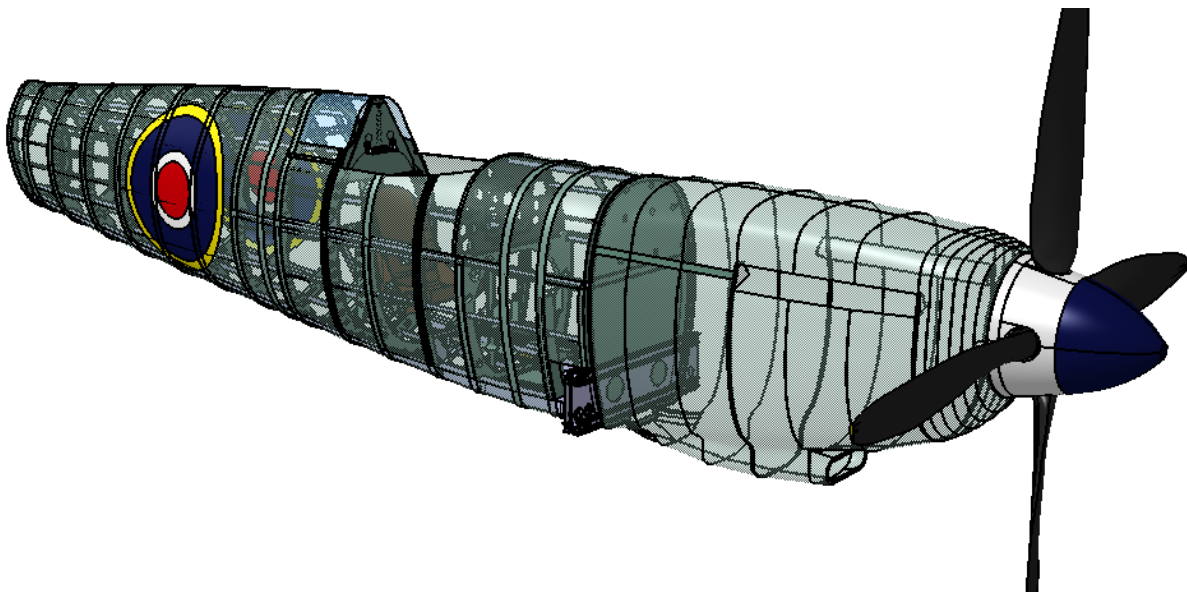


Figura 6-652. Unión Fuselaje-Cowling



- **Cola-Tren fijo:** La cola debe disponer de una estructura que soporte la unión con el tren de aterrizaje fijo y pueda transmitir las cargas que éste soporta en rodaje en pista o aterrizajes. Desconocemos como es dicha estructura.

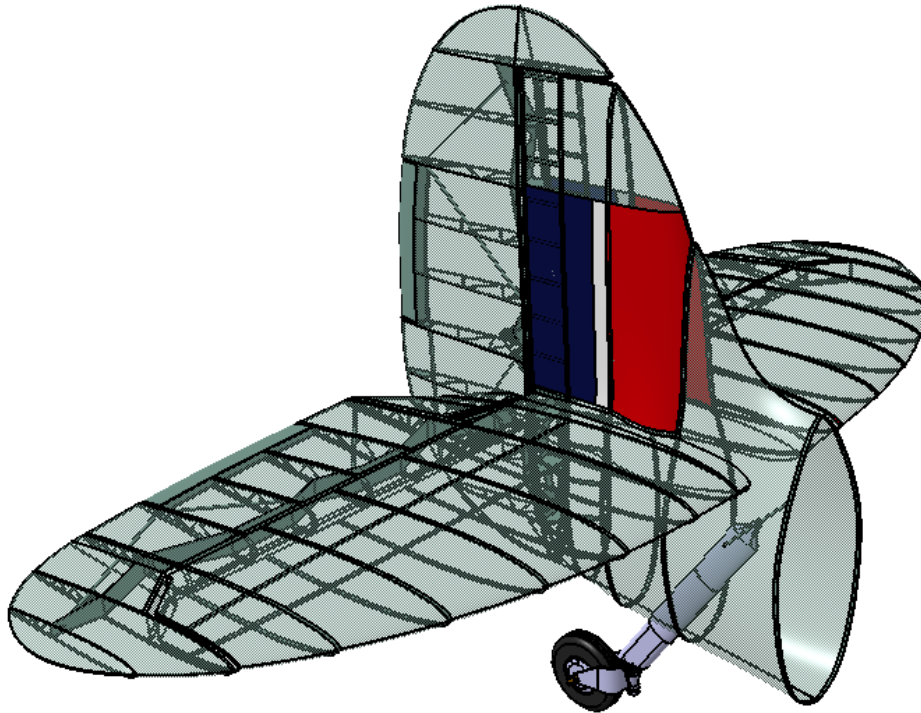


Figura 6-653. Unión Cola-Tren fijo

- **Fuselaje-Cola:** Unión por remachado orbital.

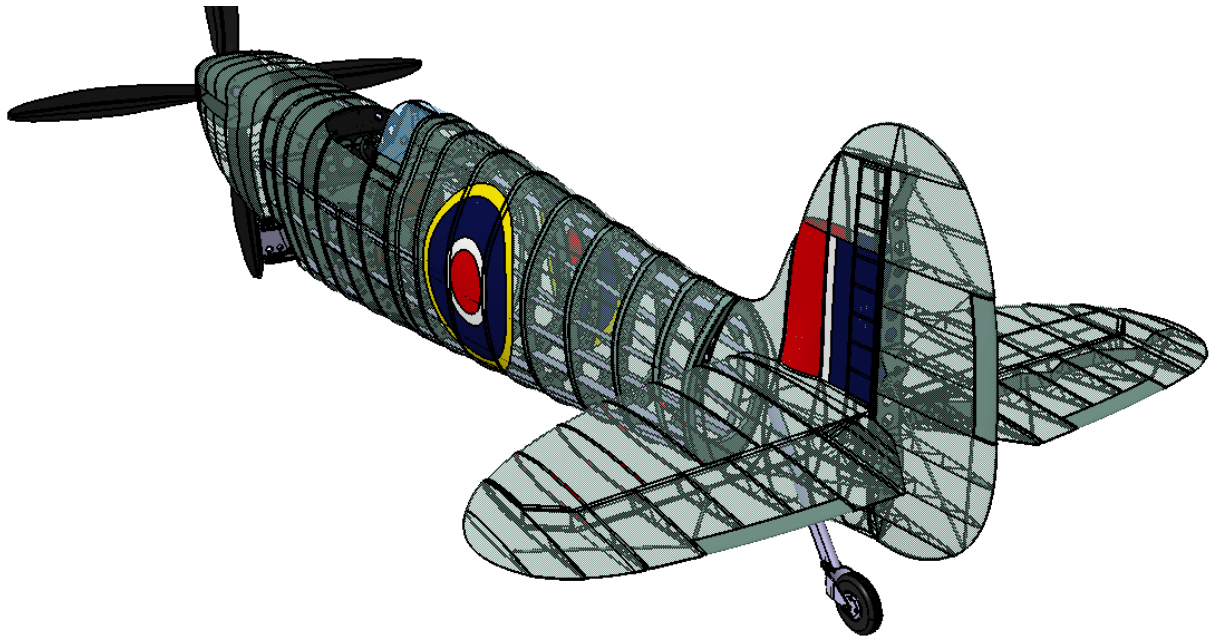


Figura 6-654. Unión Fuselaje-Cola

- **Fuselaje-Canopy:** La unión de estas partes se consigue remachando la parte fija (*windscreen canopy*) al fuselaje y acoplando el *Sliding Hood* al rail destinado a ello en el fuselaje.

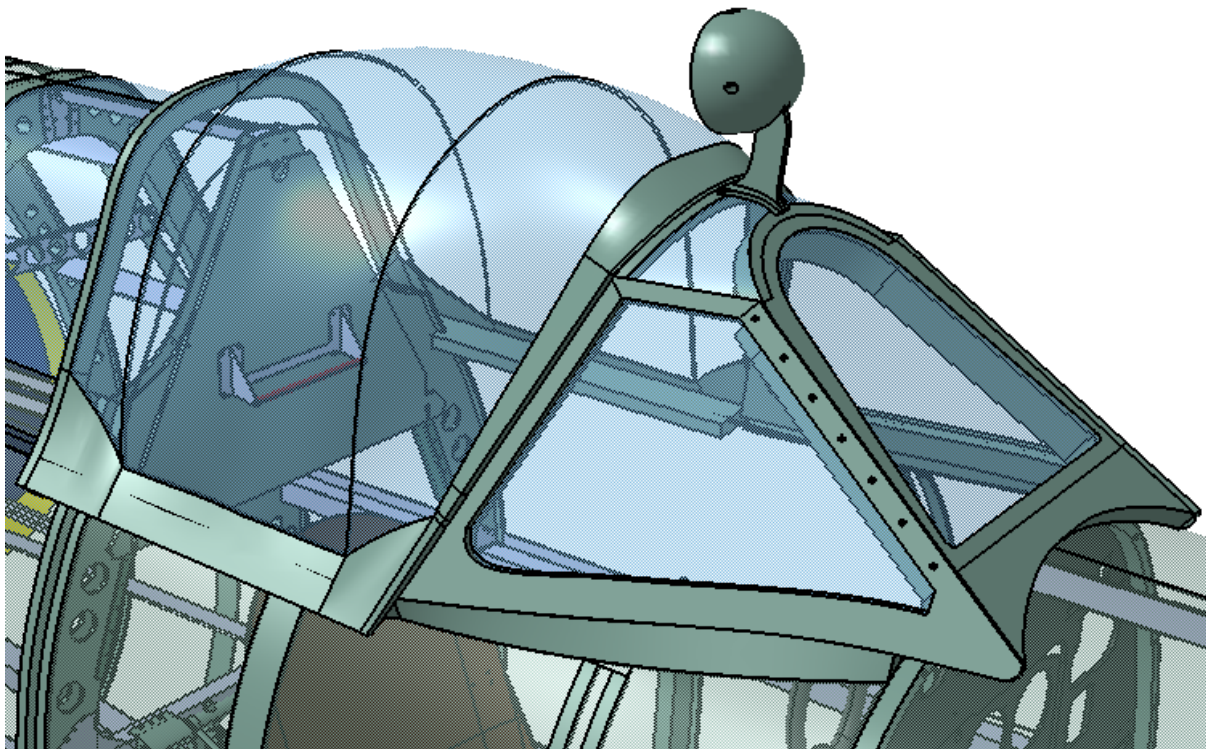


Figura 6-655. Unión Fuselaje-Canopy

- **Fuselaje-Alas:** Esta unión se efectúa mediante herrajes dispuestos en el fuselaje a los que se acoplan las alas mediante unos pasadores/bulones específicamente diseñados para soportar las cargas de la unión. También tenemos un punto fundamental de esta unión en la cuaderna 5, cuya estructura inferior está diseñada para este fin.



Figura 6-656. Herrajes de unión



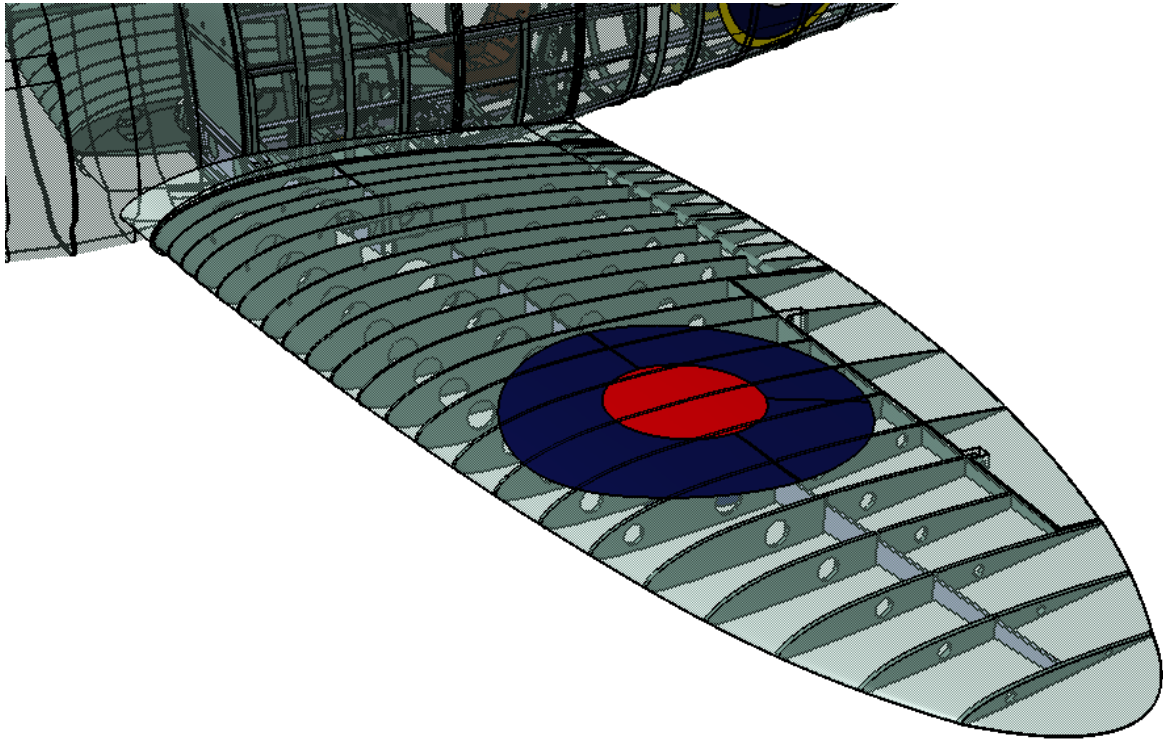


Figura 6-657. Unión Fuselaje-Ala

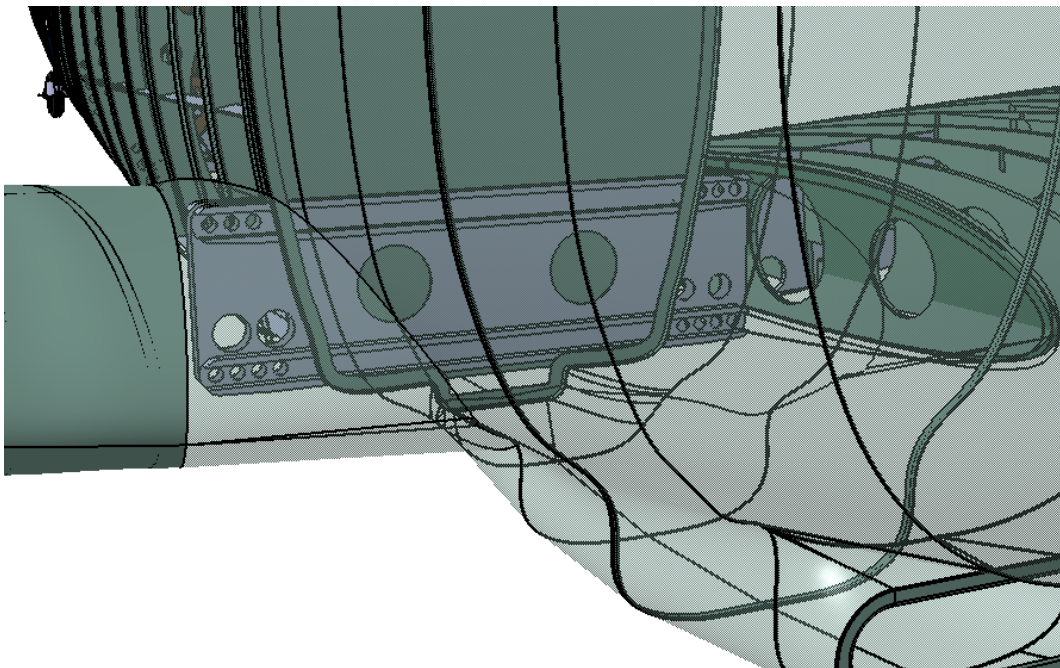


Figura 6-658. Estructura inferior de la cuaderna 5

Posteriormente a la unión mediante herrajes, se remachan pieles curvas entre el ala y el fuselaje para cubrir estas uniones. Se conoce como *wing fillet* y su objetivo es cubrir las uniones y minimizar la resistencia aerodinámica.





Figura 6-659. *Wing fillet* del Spitfire

- **Ala-Tren Retráctil:** La unión del tren retráctil queda en la zona comprendida entre ala y fuselaje, por lo que debemos disponer de un sistema de unión que garantice la absorción de las cargas de impacto a las que se somete el tren de aterrizaje, así como esfuerzos menores asociados a los movimientos de retracción/ extensión y rodadura en pista. Desconocemos como es esta estructura.

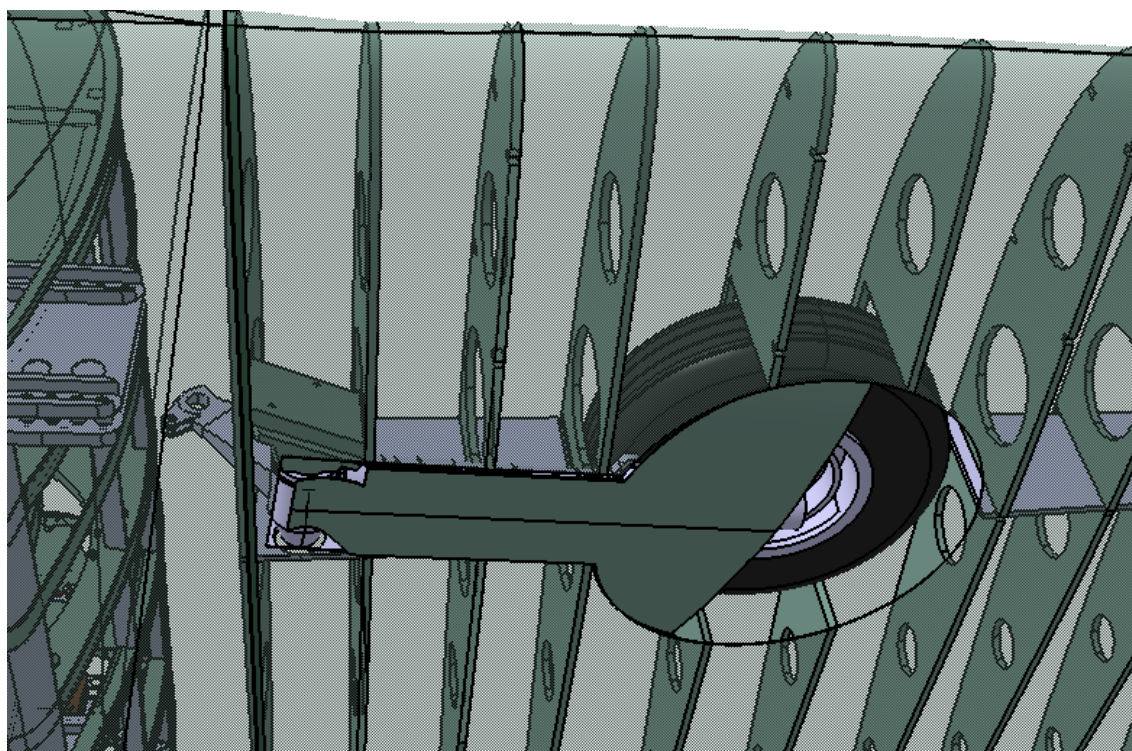


Figura 6-660. Unión Ala-Tren retráctil

Para completar estas uniones, puede ser necesario despanelar algunos módulos de la aeronave, es decir, retirar ciertos compartimentos o incluso, algunas pieles ya remachadas.

Cada vez que unimos dos módulos es importante instalar todos los sistemas de avión que procedan (hidráulico, eléctrico, combustible...), por ejemplo, realizando las conexiones pertinentes de cables y tuberías. Una vez finalizado el ensamblaje debemos revisar y testear exhaustivamente todos los sistemas de avión y las superficies de control.



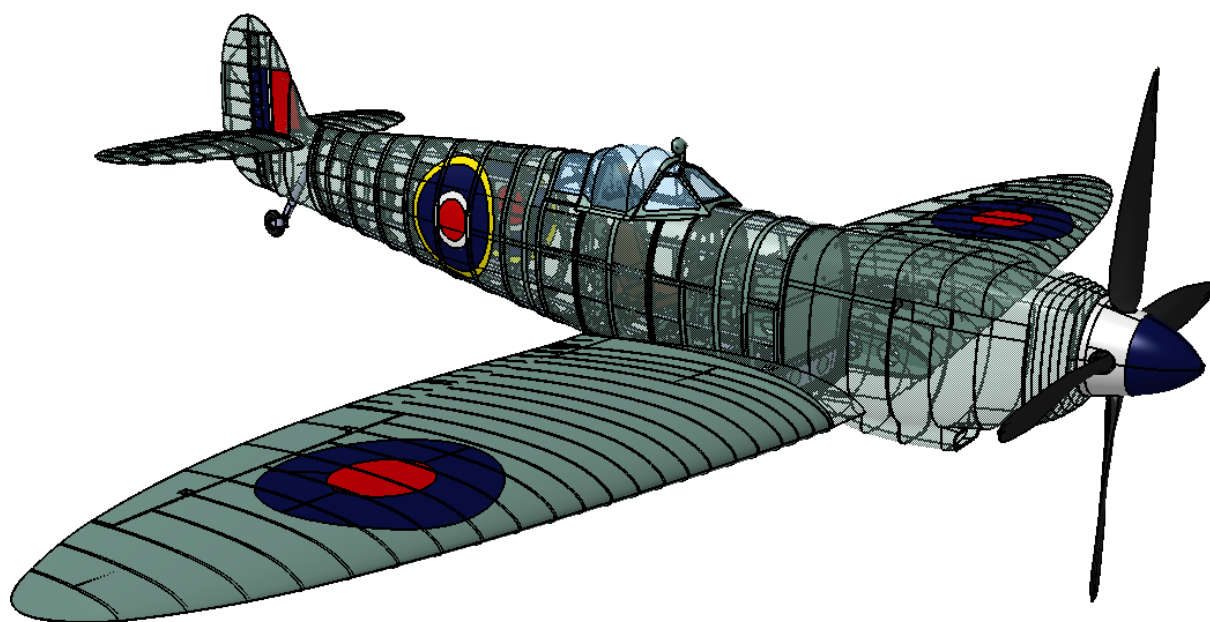


Figura 6-661. Ensamblaje completo del Spitfire Mk IX



## 7 CONCLUSIONES

---

A continuación exponemos las conclusiones que hemos extraído con la realización de este trabajo. Entre ellas, el proceso de aprendizaje en este campo, limitaciones encontradas, mejoras a seguir en trabajos de esta temática, etc.

Al tratar el proceso de fabricación/restauración de una aeronave completa, el trabajo realizado alcanza niveles de complejidad altos, de manera que sin el material de apoyo necesario encontraríamos muchos obstáculos para la finalización del mismo. En este aspecto la bibliografía de referencia y determinados sitios webs han servido de guía, siendo fundamentales para alcanzar las metas propuestas.

No obstante, la complejidad que mencionábamos también nos ha permitido indagar en el mundo de la fabricación en general y aeronáutica en particular, haciendo del desarrollo de este trabajo un proceso de aprendizaje continuo en la materia.

Con este trabajo también hemos tenido la oportunidad de aprender acerca del manejo de CATIA, especialmente del módulo de fabricación. Ahora sabemos que con los conocimientos adecuados, este módulo nos permite simular operaciones de mecanizado (y generar códigos máquina) para obtener cualquier pieza que se nos ocurra.

Al principio del proceso nos marcamos como objetivo elaborar una guía para la fabricación o restauración de esta aeronave histórica y, aunque somos conscientes de que determinados componentes obedecerían en la realidad a procesos de fabricación diferentes a los expuestos, consideramos que el objetivo se ha cumplido. Por tanto, quedamos satisfechos con el trabajo desarrollado aún a sabiendas de que podría mejorar conforme nuestro conocimiento de los procesos de fabricación y del entorno CATIA crezca.

Los principales obstáculos que hemos encontrado, han sido fundamentalmente asociados a la falta de información relativa a la fabricación desde cero de un avión de estas características. En determinados puntos del trabajo hemos tenido que improvisar soluciones vinculadas con esta carencia de información.

Por otro lado, se han expuesto las herramientas utilizadas en CATIA con gran nivel de detalle y se han hecho cientos de simulaciones para ilustrar los resultados obtenidos.

Para finalizar, vamos a recopilar una serie de líneas de mejora o ampliación para el “Proceso de fabricación y/o restauración del Spitfire Mk IX con CATIA V5”:

1. Estudiar alternativas al mecanizado como única vía para la obtención de piezas, así como, la simulación de estos procesos. Somos conscientes de que un gran número de los componentes expuestos se fabricarían en la realidad por métodos muy diferentes a los que hemos mostrado.
2. Simular o explicar la fabricación de aquellos componentes que hemos dejado en manos de proveedores especializados.
3. Estudiar viabilidad económica de las soluciones expuestas.
4. Mejorar el modelo incluyendo grupo motor, armamento, sistemas mecánicos de control, sistema eléctrico...
5. Detallar el proceso de fabricación/restauración del motor.



## 8 BIBLIOGRAFÍA

---

- [1] Torres Nogueras, C. (2017). *Modelado con CATIA V5 y recreación virtual del avión Spitfire Mk IX*. Sevilla: Universidad de Sevilla. Recuperado de: <https://idus.us.es/xmlui/handle/11441/65365>
- [2] Blackah, P. y Blachah, L. (2014). *Supermarine Spitfire Restoration Manual*. Sparkford: Haynes Publishing.
- [3] Chambers, M. A. (2016). *Building the Supermarine Spitfire*. Brimscombe Port: The History Press.
- [4] Monforton, P. H. (2016). *Spitfire Mk. IX & XVI Engineered*. Recuperado de: <https://www.monfortonpress.com/>.
- [5] Yamada, T, Ohasato, H y Hards, S. T. (2000). *Aero Detail 27 Vicker-Supermarine Spitfire Mk V-XVI*. Ampang Jaya: Model Graphix.
- [6] Humphreys, R. (2000). *SAM Modellers - The Supermarine Spitfire*. Bedford: SAM Publications
- [7] Glen, A. *Spitfire in my Workshop web*. Recuperado de: <http://www.spitfireinmyworkshop.net/>.
- [8] Harvey, D. *Aussie Modeller International web*. Recuperado de: <http://www.aussiemodeller.com/>.
- [9] Denney, G. *The Kent Spitfire web*. Recuperado de: <http://kentspitfire.co.uk/>.
- [10] Monk, P. *Biggin Hill Hangar web*. Recuperado de: <https://bigginhillheritagehangar.co.uk/>.
- [11] Mitsubishi Materials Corporation. *Catálogo virtual*. Recuperado de: <http://www.mitsubishicarbide.net/mhg/eses/>.
- [12] Ferretería UNCETA S.A. *Catálogo virtual*. Recuperado de: <https://ecommerce.unceta.es/catalogo-unceta/index.html>.